

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Využití metod vícekriteriálního rozhodování při  
výběru vhodných letounů pro zajištění přepravy  
nákladu

Applications of Multi-criteria Decision-Making  
Methods for Selecting Aircraft in the Cargo  
Transportation

Student: Bc. Vladimíra Boorová

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Ivana Olivková, Ph.D.

Ostrava 2017

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vladimíra Boorová**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie

Specializace: 40 Letecká doprava

Téma: Využití metod vícekritériálního rozhodování při výběru vhodných letounů pro zajištění přepravy nákladu  
Applications of Multi-criteria Decision-Making Methods for Selecting Aircraft in the Cargo Transportation

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

#### Cíl diplomové práce:

Cílem práce je na základě metod vícekritériálního rozhodování provést výběr vhodných letounů pro přepravu nákladu. Náklad o různém rozměru a hmotnosti bude přepravován do několika evropských států. Cílem je nalezení vhodných letounů, kterými bude zajištěna přeprava požadovaného nákladu do cílových destinací.

#### Osnova diplomové práce:

1. Letecká společnost a její činnosti
2. Možnosti rozšíření sítě linek pro zajištění přepravy nákladu
3. Návrh kritérií a určení jejich vah
4. Výběr letounů pomocí metod vícekritériálního rozhodování
5. Závěr

#### Seznam doporučené odborné literatury:

Žihla, Z. a kol.: Provozování podniků letecké dopravy a letišť. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno. 2010. 301 s. ISBN: 978-80-7204-677-5

Břina, L., Šourek, D., Ťihla, Z.: Letecká doprava II. Praha: Vysoká škola obchodní, 2007. ISBN 978-80-86841-07-6

Fotr, J., Švecová, L. a kol.: Manažerské rozhodování : postupy, metody a nástroje. Praha: Ekopress. Praha. 2010. 474 s. ISBN: 978-80-86929-59-0.

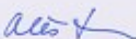
Fiala, P., Jablonský, J., Maňas, M.: Vícekritériální rozhodování. Praha: Vysoká škola ekonomická Praha. 1994. 316 s. ISBN: 80-7079-748-7

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ivana Olivková, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 15.května 2017

*Vladimíra Božová*  
.....

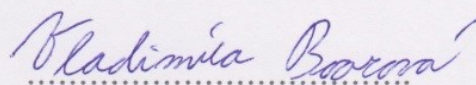
podpis studenta



Prohlašuji, že:

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst.3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15.května 2017



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Vladimíra Boorová

Adresa trvalého pobytu studenta: Pekařská 3124, Frýdek-Místek

## Poděkování

Děkuji vedoucí mé diplomové práce doc. Ing. Ivaně Olivkové, Ph.D. za ochotu a čas, který mi věnovala, a za informace a rady, které mi pomohly tuto diplomovou práci vypracovat.

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BOOROVÁ, V. *Využití metod vícekriteriálního rozhodování při výběru vhodných letounů pro zajištění přepravy nákladu : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Ústav letecké dopravy, 2017, 73 s. Vedoucí práce: Olivková, I.

Diplomová práce se zabývá využitím metod vícekriteriálního rozhodování při výběru vhodných letounů pro zajištění nákladní přepravy. Podle přepravovaného nákladu a destinací, do kterých se náklad přepravuje, jsou zvolena kritéria. Podle těchto kritérií, pomocí metod vícekriteriálního hodnocení a jednoduchých metod stanovení hodnoty užitku, se posuzují varianty letounů. V této práci je stanoven nejvhodnější letoun pro přepravu nákladu.

## ANOTATION OF MASTER THESIS

BOOROVÁ, V. *Applications of Multi-criteria Decision-Making Methods for Selecting Aircraft in the Cargo Transportation : Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Aviation Transport, 2017, 73 p. Thesis head: Olivková, I.

Master thesis is dealing with application of multi-criteria decision-making methods for selecting aircraft in the cargo transportation. According to transported cargo and destination, into which is cargo transported, there are chosen criteria. According to this criteria with multi-criteria decision-making methods and simple methods for setting utility, there are judged options of aircrafts. In this thesis is chosen best suited aircraft to cargo transporation.

# Obsah

<b>Seznam použitých značek a symbolů .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Letecká společnost.....</b>	<b>12</b>
2.1 Převážovaný náklad.....	13
2.2 Převážovací doklady v letecké dopravě.....	15
<b>3. Síť linek pro zajištění přepravy nákladu.....</b>	<b>16</b>
<b>4. Návrh kritérií a určení jejich vah.....</b>	<b>22</b>
4.1 Kritéria nákladního letounu .....	22
4.2 Metody vícekritériálního hodnocení.....	23
4.2.1 Metoda preferenčního pořadí.....	24
4.2.2 Metoda alokace 100 bodů .....	25
4.2.3 Metoda párového porovnání .....	25
4.2.4 Saatyho metoda.....	27
4.3 Určení vah kritérií .....	29
4.3.1 Metoda preferenčního pořadí kritérií.....	29
4.3.2 Metoda alokace 100 bodů .....	31
4.3.3 Metoda párového porovnání .....	32
4.3.4 Saatyho metoda.....	33
<b>5. Výběr letounů pomocí metod vícekritériálního rozhodování .....</b>	<b>35</b>
5.1 Flotila .....	35
5.2 Jednoduché metody stanovení hodnoty (užitku) variant.....	50
5.2.1 Metoda váženého pořadí .....	51
5.2.2 Metoda založená na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení .....	52
5.2.3 Metoda lineárních dílčích funkcí užítu .....	52
5.2.4 Metoda bazické varianty .....	53
5.3 Užití metod stanovení hodnoty (užitku) variant .....	54
5.3.1 Volba letounu pro přepravu nákladu do Itálie .....	55

5.3.2 Volba letounu pro přepravu nákladu do Švýcarska .....	57
5.3.3 Volba letounu pro přepravu nákladu do Španělska .....	59
5.3.4 Volba letounu pro přepravu nákladu do Estonska .....	60
5.3.5 Volba letounu pro přepravu nákladu do Nizozemí .....	62
<b>6. Závěr .....</b>	<b>65</b>
<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>68</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>72</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>73</b>



## Seznam použitých značek a symbolů

AMC	Air Move Cargo	$v_i$	je normovaná váha i-tého kritéria
LIMC	Milan-Malpensa airport		[-]
MLP	Milan-Malpensa airport	$G_i$	je geometrický průměr i-tého kritéria [-]
LKPR	Letiště Václava Havla v Praze	$K_1$	Maximální hmotnost nákladu [kg]
PRG	Letiště Václava Havla v Praze	$K_2$	Dolet [km]
		$K_3$	MTOM [kg]
LSZH	Zurich airport	$K_4$	Rychlost [km/h]
ZRH	Zurich airport	$K_5$	Objem nákladového prostoru [m <sup>3</sup> ]
LEBL	Barcelona-El Prat airport	$K_6$	Hodinová spotřeba paliva [kg/h]
RCN	Barcelona-El Prat airport	$K_7$	Náklady na letovou hodinu
EETU	Tartu airport	$p_i^j$	je pořadí j-té varianty vzhledem k i-tému kritériu
TAY	Tartu airport	$m$	je počet variant
EHAM	Schiphol airport	$h_i^j$	je dílčí ohodnocení j-té varianty vzhledem k i-tému kritériu
AMS	Schiphol airport		
MTOM	Maximální vzletová hmotnost	$x_i^*$	je nejlepší hodnota u daného kritéria
$k_i$	je nenormovaná váha i-tého kritéria [-]	$x_i^0$	je nejhorší hodnota u daného kritéria
$n$	je počet kritérií [-]	$x_i^j$	je hodnota u daného kritéria
$p_i$	je pořadí i-tého kritéria v jeho preferenčním uspořádání [-]	$x_i^j$	je hodnota u daného kritéria
		$x_i^b$	je hodnota bazické varianty

# 1. Úvod

Letecká doprava dnes patří k nejvyužívanějšímu druhu přepravy. Je bezpečnější než ostatní druhy přepravy a spojuje vzdálená místa za poměrně krátkou dobu. Z tohoto důvodu roste poptávka po přepravě a letecké společnosti se snaží rozšiřovat nabídku destinací, aby co nejvíce uspokojily poptávku po letecké přepravě.

Kromě přepravy cestujících, se letecká doprava využívá i pro přepravu nákladu. S větší poptávkou roste množství nákladu, které má být přepraveno a tím i hmotnost nákladu. Existuje několik způsobů jak přepravovat náklad. První možností je doložení nákladu do letadla, přepravujícího cestující. Druhý způsob využívá k přepravě nákladní letadla. Tyto letadla jsou konstruovány tak, aby se do nich daly vložit palety a kontejnery nebo volně ložený náklad.

Nevýhodou tohoto druhu přepravy jsou velké náklady oproti pozemní a vodní dopravě. Na druhou stranu letecká nákladní doprava má spoustu výhod, které tuto nevýhodu kompenzují. Velkou výhodou nákladní letecké dopravy je rychlá přeprava na velké vzdálenosti. Toto je důležité při přepravě nákladu, jehož užitková hodnota s dlouhotrvající přepravou se snižuje. Příkladem takového zboží mohou být noviny, potraviny nebo léky. Další výhodou je minimální poškození anebo ztráta přepravovaného nákladu. Do kontaktu s nákladem přichází malé množství lidí a je zajištěna vysoká bezpečnost na letišti. Co se týče nákladu, tak pojištění je nižší než u pozemní přepravy. Je to z toho důvodu, že procento se stanovuje z celkové hodnoty nákladu v závislosti na době přepravy.

Tato diplomová práce se zabývá výběrem jednoho letounu pro nákladní přepravu do cílové destinace pomocí metod vícekritériálního rozhodování. Ze zvolených variant letounů, se pomocí těchto metod vybere jeden nejvhodnější typ letounu pro nákladní přepravu do každé cílové destinace. Letoun přepravuje náklad do destinací v Evropě.

Druhá kapitola se zabývá leteckou společností, která náklad přepravuje. Dále popisuje jaký náklad je přepravován a jaké jsou jeho vlastnosti. V této kapitole jsou také popsány doklady, které jsou potřebné pro uskutečnění přepravy.

Třetí kapitola obsahuje cílové destinace. Blíže se zde rozebírají letiště a hmotnost nákladu, který se na letiště přepravuje.

Ve čtvrté kapitole jsou popsána důležitá kritéria, podle kterých se má letoun vybírat a určení jejich vah. V následující páté kapitole jsou popsány letouny a používané metody pro jejich výběr.

## 2. Letecká společnost

Přepravu nákladu uskutečňuje fiktivní letecká společnost AMC Air Move Cargo. Společnost byla založena v roce 2006 a je zaměřena na mezinárodní nákladní přepravu. Sídlí na letišti Václava Havla v Praze. Letecká společnost AMC má přepravit skleněné výrobky do destinací v Evropě. V letecké nákladní dopravě manipuluje s nákladem méně lidí než v silniční dopravě a proto je zde menší riziko poškození nebo ztráty. Protože se náklad přepravuje na velké vzdálenosti, je vhodnější letecká přeprava, jelikož je zde menší riziko poškození nákladu.

České sklo je ve světě známý produkt a je o něj velký zájem. Putuje jak na americký kontinent, tak míří i do Spojených arabských emirátů, Egypta nebo do Japonska. Z celkového vývozu z České republiky představuje sklo podíl 11%. Patří sem sklo pro vinařství, gastronomii a užitkové sklo. Jedná se hlavně o sklenice a obalový materiál jako jsou láhve na víno nebo na parfémy. Dále to jsou mísy, vázy, lustry a různé dekorace.

AMC ve spolupráci s českou sklárnou Bohemia crystal glass provozuje pravidelnou přepravu do několika evropských zemí. Do této pravidelné přepravy nákladu patří nejvíce využívané výrobky a to jsou především sklenice, dále obalové láhve a potom také křišťálové mísy. Přeprava se uskutečňuje do zemí Itálie, Švýcarsko, Španělsko, Estonsko a Nizozemí. Tyto výrobky se převážejí v krabicích s polyesterem. Polyesterová výplň má malou hmotnost, a proto je vhodná jako výplň pro zajištění větší bezpečnosti nákladu. Přeprava probíhá z letiště Václava Havla. Sklad je vzdálen od letiště 75 km, náklad je dovezen nákladními automobily za necelou hodinu na letiště. Tady je náklad zkontrolován, zvážen a změřen. Po letecké přepravě do cílových destinací je náklad předán přepravním společností, které skleněné výrobky přepraví do skladů a obchodů prodejců.[1]

Při letu zpět na domovské letiště, jsou letouny využívány na přepravu nákladu od logistických firem a přepravu nákladu od dalších odesílatelů. Příkladem takového nákladu mohou být tulipány dovážené z Nizozemí. Dalším příkladem mohou být potraviny, které se sem dovážejí ze Španělska. Z Estonska mohou být převážena elektrická zařízení.



## 2.1Přpravovaný náklad

Náklad, který se přepravuje, jsou výrobky ze skla. Aby tento náklad mohl být přijat k přepravě, musí splňovat podmínky pro přijetí. Mezi tyto podmínky patří [2]:

- není z titulu svého charakteru vyloučeno z přepravy
- není zakázán jeho vývoz
- jeho obsah je řádně deklarován
- je předáno k přepravě spolu s požadovanými přepravními dokumenty
- je řádně zabaleno a označeno
- nejeví známky poškození
- nesmí ohrožovat bezpečnost
- nesmí obtěžovat cestující a posádku

Výrobky ze skla, které se přepravují do Itálie, Švýcarska, Španělska, Estonska a Nizozemska tyto podmínky splňují. Proto mohou být přijaty k přepravě.

Sklenice jsou vyrobeny z křišťálového skla. Jsou vysoké 19 cm, horní průměr sklenice je 9 cm a průměr spodní části je 6,5 cm. Váha jedné sklenice je 467,5 g. V jedné krabici se přepravují 4 sklenice. Celková váha jedné krabice je 1 870 g.



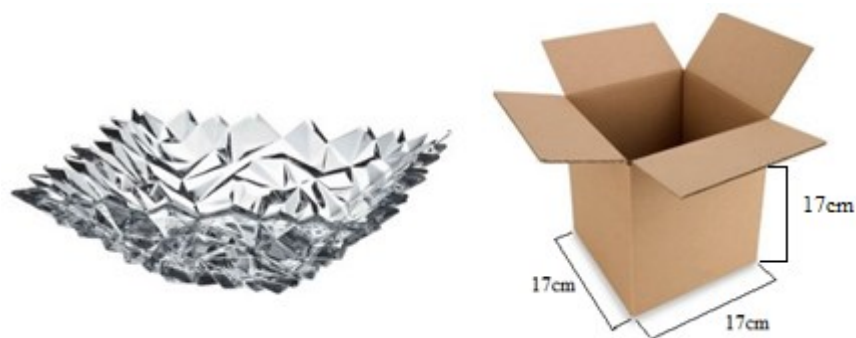
*Obr. 2.1. Rozměry krabice se sklenicemi [3]*

Také láhve jsou vyrobené z křišťálového skla. Láhev je vysoká 20 cm a široká je 10 cm. Jedna láhev váží 1 394 g. Láhve se přepravují v krabici po jednom kusu. Celková váha zabalené krabice je 1 600 g.



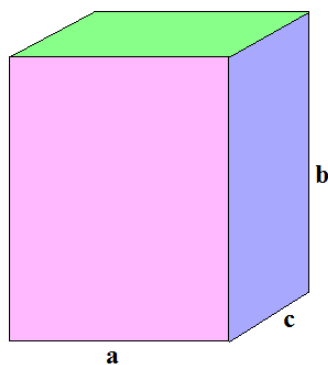
*Obr. 2.2. Rozměry krabice s láhví [3]*

Křišťálová mísa je 15 cm vysoká a její průměr je 15 cm. Váha jedné mísy je 1 360g. V krabici se přepravuje vždy jen jedna váza. Celková hmotnost přepravované krabice s vázou je 1 600g.



*Obr. 2.3. Rozměry krabice s mísou [3]*

Jedná se o křehký náklad. Proto každá krabice musí být označena štítkem s nápisem fragile. Krabice jsou v letadle volně ložené a upevněné sítí.



*Obr. 2.4. Popis stran kváдру*

Všechn náklad je balen do krabic, které mají tvar kvádrů. Jak velký objem jedna krabice v nákladovém prostoru zabírá, se stanoví podle vzorce:

$$V = a \cdot b \cdot c \quad (2.1)$$

$$V = 0,21 \cdot 0,24 \cdot 0,24 = 0,0120 \text{ m}^3$$

$$V = 0,12 \cdot 0,12 \cdot 0,22 = 0,0032 \text{ m}^3$$

$$V = 0,17 \cdot 0,17 \cdot 0,17 = 0,0050 \text{ m}^3$$

Jedna krabice se sklenicemi zabírá v nákladovém prostoru  $0,0120 \text{ m}^3$ , jedna krabice s láhví zabírá prostor o objemu  $0,0032 \text{ m}^3$  a jedna krabice s mísou zabírá prostor o objemu  $0,0050 \text{ m}^3$ .

## 2.2Přepravní doklady v letecké dopravě

Celkem jsou k přepravě nákladu vystaveny 4 doklady. Mezi tyto dokumenty patří letecký nákladní list, cargo manifest, nakládací list a transfer manifest. [2]

- **Letecký nákladní list (Air Waybill)**

Tento doklad mezi sebou uzavírá odesílatel – sklárny a dopravce – AMC. Je to doklad o převzetí zboží a doprovází náklad až do vydání na místo určení. Tento doklad je vyhotoven ve 14 verzích. Tři verze jsou originály a rozdělí se mezi odesílatele, dopravce a příjemce. Zbylých 11 verzí jsou kopie a jsou určeny pro zúčtovací potřeby a jako důkaz doručení zásilky. Jedna kopie je podepsána příjemcem a doručovatel si ji ponechává.

- **Cargo manifest**

Na tomto dokladu je vypsán seznam zásilek, které jsou naloženy do jednoho letounu. Je součástí nakládacího listu.

- **Nakládací list (loadsheets)**

V nakládacím listě jsou informace o hmotnosti nákladu o rozložení nákladu vůči těžišti pro určitý let.

- **Transfer manifest**

Doklad o ohlašování překlada nákladu. V tomto dokladu je stanoveno kdo náklad doručila a kdo ho převzal.

### 3. Síť linek pro zajištění přepravy nákladu

#### Václav Havel Airport Prague

Domovským letištěm letecké společnosti AMC Air Move Cargo je letiště Václava Havla v Praze. Je to mezinárodní letiště a je největším letištěm v České republice. Toto letiště je vzdáleno od firmy Bohemia Glass Crystal 75 km. Leží v nadmořské výšce 376 m. Jeho ICAO kód je LKPR a IATA kód je PRG. [4]



*Obr. 3.1. Letiště v Praze [5]*

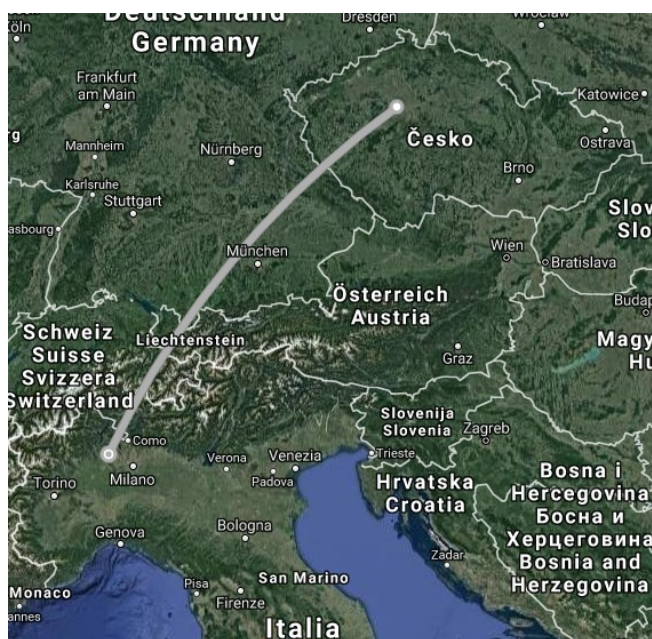
*Tab. 3.1. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti v Praze*

Runway		
Směr	Délka	Povrch
06 / 24	3 715 m	Beton
12 / 30	3 250 m	Beton

Letecká společnost AMC Air Move Cargo bude přepravovat náklad z letiště v Praze na letiště Milan-Malpensa v Itálii, letiště Zurich ve Švýcarsku, letištěm Barcelona-El Prat ve Španělsku, letiště Tartu v Estonsku a na letiště Schiphol v Nizozemí. Cílové destinace jsou vybrány podle poptávky po výrobcích ze skla. Do každé destinace se přepravuje jiné množství nákladu. Pomocí vícekritériálních metod se pro každou destinaci bude vybírat jeden vhodný letoun, který sem přepraví náklad.



## Milan-Malpensa Airport



Obr. 3.2. Letiště v Miláně a v Praze na mapě [35]

Vzdálenost mezi letištěm Václava Havla a tímto letištěm je 647 km. Je to největší mezinárodní letiště v Miláně. Leží v nadmořské výšce 305 m a je v provozu 24 hodin denně. Letiště je vzdáleno 49 km od města. Jeho ICAO kód je LIMC a IATA kód je MXP. Na tomto letišti jsou dvě paralelní dráhy. [6,7]

Tab. 3.2. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti Milan-Malpensa

Runway		
Směr	Délka	Povrch
17L / 35R	3 920 m	Asfalt
17R / 35L	3 920 m	Asfalt

Do Milána je přepravováno 1 200 krabic se sklenicemi, to je 2 244 kg. Počet přepravovaných láhví je 1 700, to je 2 720 kg. Počet přepravovaných misek je 500, to je 800 kg. Celková hmotnost nákladu, který se má přepravit je 5 764 kg.

### Zurich Airport



Obr. 3.3. Letiště v Curychu a v Praze na mapě [35]

Vzdálenost mezi letištěm Václava Havla a tímto letištěm je 512 km. Toto letiště je umístěno 13 km od města Curych. Je největším mezinárodním letištěm ve Švýcarsku. Leží v nadmořské výšce 432 m. Je to mezinárodní letiště s provozem 24 hodin denně. Jeho ICAO kód je LSZH a IATA kód je ZRH. Na tomto letišti jsou tři vzletové a přistávací dráhy. [7,8]

Tab. 3.3. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti v Curychu

Runway		
Směr	Délka	Povrch
10 / 28	2 500 m	Beton
14 / 32	2 300 m	Beton
16 / 34	3 700 m	Beton

Do Curychu a dalších měst ve Švýcarsku je přepravováno 1 000 krabic se sklenicemi, to je 1 870 kg. Počet přepravovaných láhví je 900, to je 1 440 kg. Počet přepravovaných misek je 900, to je 1 440 kg. Celková hmotnost nákladu, který se má přepravit je 4 750 kg.

### Barcelona-El Prat Airport



Obr. 3.4. Letiště v Barceloně a v Praze na mapě [35]

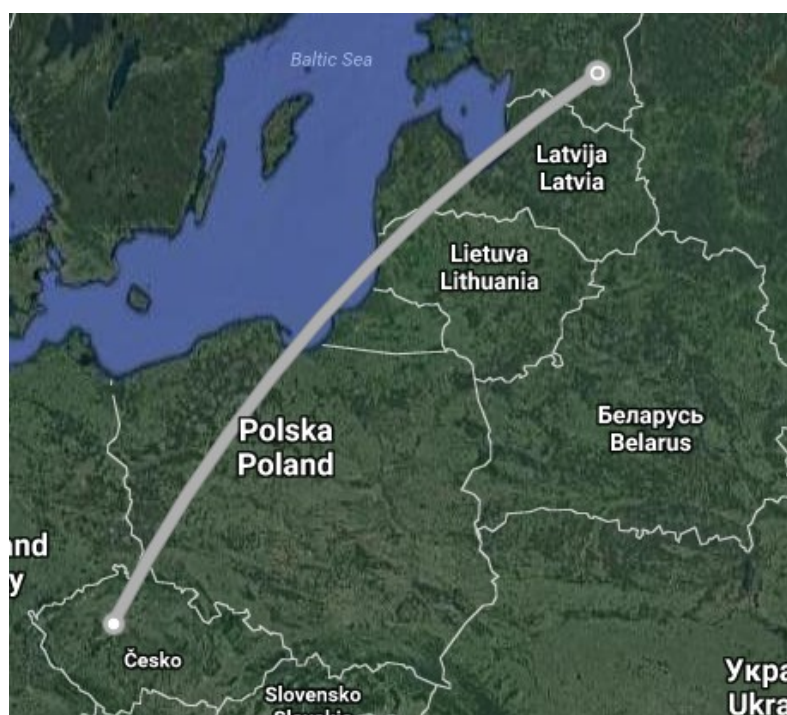
Vzdálenost mezi letištěm Václava Havla a tímto letištěm je 1 358 km. Toto letiště leží 12 km od města Barcelona. Leží v nadmořské výšce 4 m. Je to mezinárodní letiště s provozem 24 hodin denně. Jeho ICAO kód je LEBL a IATA kód je BCN. Na tomto letišti jsou tři vzletové a přistávací dráhy. [7,9]

Tab. 3.4. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti v Barceloně

Runway		
Směr	Délka	Povrch
02 / 20	2 540 m	Asfalt
07R / 25L	2 660 m	Asfalt
07L / 25R	3 552 m	Asfalt

Do Barcelony je přepravováno 1 000 krabic se sklenicemi, to je 1 600 kg. Počet přepravovaných láhví je 2 000, to je 3 200 kg. Počet přepravovaných misek je 700, to je 1 120 kg. Celková hmotnost nákladu, který se má přepravit je 5 920 kg.

## Tartu Airport



Obr. 3.5. Letiště v Estonsku a v Praze na mapě [35]

Vzdálenost mezi letištěm Václava Havla a tímto letištěm je 1 217 km. Toto letiště leží 11 km od města Tartu, druhého největšího města v Estonsku. Leží v nadmořské výšce 67 m. Jeho ICAO kód je EETU a IATA kód je TAY. Na tomto letišti je jedna vzletové a přistávací dráha. [7,10]

Tab. 3.5. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti v Estonsku

Runway		
Směr	Délka	Povrch
08 / 26	1 799 m	Asfalt/Beton

Do Estonska je přepravováno 1 500 krabic se sklenicemi, to je 2 805 kg. Počet přepravovaných láhví je 1 200, to je 1 920 kg. Počet přepravovaných misek je 600, to je 960 kg. Celková hmotnost nákladu, který se má přepravit je 5 685 kg.



### Amsterdam Schiphol Airport



Obr. 3.6. Letiště v Nizozemsku a v Praze na mapě [35]

Vzdálenost mezi letištěm Václava Havla a tímto letištěm je 706 km. Schiphol leží přibližně 17 km od centra Amsterdamu. Leží v nadmořské výšce -3 m. Je to mezinárodní letiště s provozem 24 hodin denně. Jeho ICAO kód je EHAM a IATA kód je AMS. Na tomto letišti je šest vzletových a přistávacích drah. [7,11]

Tab. 3.6. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti Schiphol

Runway		
Směr	Délka	Povrch
18R / 36L	3 800 m	Asfalt
06 / 24	3 500 m	Asfalt
09 / 27	3 453 m	Asfalt
18L / 36R	3 400 m	Asfalt
18C / 36C	3 300 m	Asfalt
04 / 22	2 014 m	Asfalt

Do Nizozemska je přepravováno 1 000 krabic se sklenicemi, to je 1 870 kg. Počet přepravovaných láhví je 800, to je 1 280 kg. Počet přepravovaných misek je 800, to je 1 280 kg. Celková hmotnost nákladu, který se má přepravit je 4 430 kg.

## 4. Návrh kritérií a určení jejich vah

V této práci se vybírá letoun pro nákladní dopravu. Na základě toho, k čemu má být letoun určený, do jakých míst bude létat a co bude převážet, je nutné si stanovit kritéria, podle kterých budou varianty letounů porovnávány. Volba kritérií je důležitý krok, protože na základě těchto kritérií po aplikaci jednoduchých metod stanovení hodnoty (užitku) variant se zjistí, který letoun je nejvhodnější pro nákladní přepravu. Kritéria stanovuje hodnotitel sám a to na základě použití letounu. Také sám stanovuje počet kritérií, podle kterých bude letoun hodnotit.

Velký počet kritérií, která mohou být ještě protichůdná, může komplikovat samotné rozhodnutí. Proto hodnotitelé, ve snaze ulehčit celý proces rozhodování, redukují počet kritérií, která mohou být zanedbatelná a nemají výsledný výběr letounu až tak velký vliv. Ovšem pokud dochází k redukci kritérií na minimum, může dojít ke zkreslení výsledků.

### 4.1 Kritéria nákladního letounu

Hned na začátku je důležité si zvolit vhodná kritéria, podle kterých se budou varianty letounů posuzovat. V tomto případě se vybírá letoun pro nákladní přepravu pro krátké až střední vzdálenosti. U každého letounu se posuzuje maximální hmotnost nákladu, tato položka je jedna z důležitějších, jelikož se jedná o společnost zaměřenou na nákladní přepravu. Ne všechny letouny ve flotile mohou přepravit všechnen náklad najednou. Pak by musel být náklad přepraven jedním letounem po částech. Takhle by letoun letěl do cílové destinace několikrát za den. Dalším důležitým kritériem je dolet. Letoun má létat do destinací v Evropě. Nejvhodnější letoun by byl takový, který by zvládnul letět bez mezipřistání na doplnění pohonných hmot. Dolet je ovlivňován i hmotností nákladu, čím je těžší náklad, tím je menší dolet. Dalším kritériem je MTOM (maximální vzletová hmotnost), hmotnost která nesmí být při vzletu překročena. Na základě MTOM se počítají letištní poplatky. Jedná se o nákladové kritérium, které čím je vyšší, tím vyšší poplatek, za použití vzletové a přistávací dráhy, musí být zaplacen. Při rozhodování se bere v úvahu i rychlost. Nižší hmotnost letadla a kratší trup umožňují vyšší rychlost letounu. Dalším kritériem, podle kterého se bude posuzovat vhodný letoun, je objem nákladového prostoru. Náklad je zabalen v krabicích a je

třeba, aby se jich do nákladového prostoru vešlo co největší množství. Předposledním kritériem je hodinová spotřeba paliva. Palivo představuje podstatnou položku v nákladech. Proto je vhodnější zvolit letoun, jehož spotřeba nebude příliš vysoká. Posledním kritériem jsou náklady na jednosměrný let do cílové destinace. Tyto náklady jsou stanoveny z nákladů na letovou hodinu. Jde o kritérium nákladového typu, proto čím bude nižší, tím významnější varianta bude. Na základě těchto kritérií je třeba posoudit všechny varianty letounů a vybrat tu nejvhodnější variantu.

## **4.2 Metody vícekritériálního hodnocení**

Kritéria se dají rozdělit na kvantitativní a kvalitativní. Kvantitativní kritéria se dají vyjádřit číslem, příkladem může být dolet, MTOM. Kvalitativní kritéria nelze měřit, jsou hodnoceny slovně. U těchto kritérií se slovní hodnocení převádí na bodové stupnice. Dále se kritéria dají rozdělit na kritéria výnosového a nákladového typu. Kritéria výnosového typu, to jsou kritéria, u kterých platí čím více, tím lépe. Příkladem může být maximální hmotnost nákladu. Kritéria nákladového typu to jsou kritéria, u kterých platí čím více, tím hůře. Příkladem takového kritéria může být cena za pohonné jednotky.

Jednotlivým kritériím se stanovují váhy. Je to číselné vyjádření důležitosti sledování cílů letecké společnosti při výběru letounu, transformovaných do kritérií. Čím důležitější je kritérium, tím je jeho váha vyšší. A platí to i naopak, čím je kritérium méně významné, tím je nižší i jeho váha. Tyto váhy se ještě dále normují, a to proto, aby se daly srovnat váhy souboru kritérií, které mohou být získány různými metodami.

Existuje několik metod a to metody přímého stanovení vah, kdy se posuzuje jejich významnost přímo, sem patří metoda preferenčního pořadí, alokace 100 bodů. Dále sem patří metody založené na párovém srovnání významnosti kritérií a to je metoda párového srovnání a Saatyho metoda. [12,13]

V této práci budou váhy kritérií stanoveny všemi uvedenými metodami. Jakmile jsou stanoveny váhy kritérií, využijí se při výpočtech pro hodnocení jednotlivých variant letounů. V tabulce je uvedeno označení pro jednotlivé metody.

#### 4.2.1 Metoda preferenčního pořadí

U této metody hodnotitel sám stanoví, která kritéria jsou důležitější, a která kritéria jsou méně důležitá. Je to subjektivní metoda hodnocení. Proto by hodnotitel měl být odborníkem v dané oblasti nebo by měl mít dostatečné znalosti a zkušenosti.

U této metody se postupuje následovně, všem kritériím se přidělí pořadí důležitosti. Přičemž první kritérium je nejdůležitější a poslední kritérium je nejméně důležité. Poté se vypočítá nenormovaná váha za účelem výpočtu normovaných vah jednotlivých kritérií podle vzorce:

$$k_i = n + 1 - p_i \quad (4.1)$$

kde:  $k_i$  je nenormovaná váha  $i$ -tého kritéria [-]

$n$  je počet kritérií [-]

$p_i$  je pořadí  $i$ -tého kritéria v jeho preferenčním uspořádání [-]

Ve vzorci 4.1 se k celkovému počtu kritérií připočítává číslo 1. Je to z toho důvodu, že kdyby se tam jednička nepřičítala, pak by nenormovaná váha nejméně významného kritéria byla nulová. Výsledná hodnota nenormované váhy je nejvyšší u kritéria umístěného na prvním místě a nejnižší u kritéria umístěného na posledním místě. Následně se vypočítá normovaná váha všech kritérií, přičemž platí, že součet všech normovaných vah je roven 1. Vzorec pro výpočet normované váhy kritéria:

$$v_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad (4.2)$$

kde:  $k_i$  je nenormovaná váha  $i$ -tého kritéria [-]

$n$  je počet kritérií [-]

$v_i$  je normovaná váha  $i$ -tého kritéria [-]

Ve jmenovateli je hodnota rovna součtu všech nenormovaných vah. Vydělením nenormované váhy jmenovatelem se získá normovaná váha, která nabývá hodnot z intervalu  $<0;1>$ . [12,13]



#### **4.2.2 Metoda alokace 100 bodů**

Jde o kvantitativní metodu, kde hodnotitel má k dispozici 100 bodů. Tyto body rozdělí mezi jednotlivá kritéria tak, aby odpovídaly významnosti kritéria. Čím je kritérium významnější, tím více body bude ohodnoceno. Kritérium, které je méně významné, bude ohodnoceno menším počtem bodu. Jakmile jsou všem kritériím přiřazeny body, musí být součet těchto bodů roven 100. Tato metoda je výhodnější v tom, protože umožňuje hodnotiteli vyjádřit přesnější důležitost jednotlivých kritérií. U kritérií, která jsou stejně významná, lze přidělit stejný počet bodů. Kritériím, která jsou prokazatelně významnější než ostatní, je přiděleno mnohem více bodů než ostatním kritériím a naopak.

Když jsou všechny body rozděleny, stanoví se normovaná váha kritéria a to tak, že počet přidělených bodů je vydělen 100, tedy celkovým počtem bodů, které se přidělují. Vypočítá se podle vzorce 4.1, kde  $k_i$  reprezentují počet přidělených bodů i-tému kritériu. [12,13]

#### **4.2.3 Metoda párového porovnání**

V této metodě se porovnávají mezi sebou dvě kritéria a určuje se, které kritérium je důležitější než to jiné. Takto se pro každé kritérium zjistí počet jeho preferencí vzhledem ke všem ostatním kritériím souboru. Je výhodná v tom, že umožňuje určit pořadí kritérií podle jejich významnosti a tím tato metoda dává spolehlivější výsledky. Nevýhodou u této metody je, že nelze stanovit jak velký je rozdíl mezi významnosti jednoho kritéria od druhého. Tato metoda pouze říká, zda kritérium je anebo není významnější než druhé kritérium. Proto nevíme, o kolik je kritérium významnější než to druhé. Tento problém odstraňuje Saatyho metoda. K porovnání dvou kritérií se používá tzv. Fullerův trojúhelník. Hodnotitel porovnává mezi sebou kritérium, které je v řádku s kritériem, které je ve sloupci. Potom určuje, které kritérium z této dvojice preferuje a číslo tohoto kritéria zapíše do příslušného řádku.

Tab. 4.1. Fullerův trojúhelník

Kritérium	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
K <sub>1</sub>		1	1	1	1
K <sub>2</sub>			3	2	2
K <sub>3</sub>				3	5
K <sub>4</sub>					5
K <sub>5</sub>					

V tabulce je porovnáváno 5 kritérií. Nejprve se srovnávalo kritérium K<sub>1</sub> v řádku, které je v řádku s kritériem K<sub>2</sub>, které je ve sloupci. Jelikož kritérium K<sub>1</sub> je důležitější než K<sub>2</sub>, je v políčku napsáno číslo 1. Při porovnávání kritéria K<sub>2</sub> (kritérium v řádku) s kritériem K<sub>3</sub> (kritérium v sloupci) hodnotitel stanovil, že kritérium K<sub>3</sub> je důležitější než kritérium K<sub>2</sub>, v příslušném políčku je napsáno číslo 3. V dalším kroku je porovnáváno kritérium K<sub>2</sub> (kritérium v řádku) s kritériem K<sub>4</sub> (kritérium ve sloupci), hodnotitel stanovil, že kritérium K<sub>2</sub> je důležitější než kritérium K<sub>4</sub> a proto je v políčku číslo 2. Takto se mezi sebou porovnají všechna kritéria a stanoví se počet preferencí. Tento počet se stanoví tak, že hodnotitel se podívá do Fullerova trojúhelníku a spočítá kolikrát je v řádku a sloupci příslušného kritéria kritérium preferováno. V následující tabulce je vidět, že kritérium K<sub>1</sub> bylo preferováno před ostatními kritérii 4x, proto je ve sloupci Počet preferencí v řádku K<sub>1</sub> napsána 4. V řádku a ve sloupci kritéria K<sub>2</sub> je v polích 2 napsaná 2x, proto počet preferencí u druhého kritéria je 2.

Tab. 4.2. Určování počtu preferencí u kritéria K<sub>1</sub> a kritéria K<sub>2</sub>

Kritérium	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	Počet preferencí
K <sub>1</sub>		1	1	1	1	4
K <sub>2</sub>			3	2	2	2
K <sub>3</sub>				3	5	2
K <sub>4</sub>					5	0
K <sub>5</sub>						2

Jakmile je stanoveny počty preferencí pro jednotlivá kritéria, určí se pořadí kritérií. Na prvním místě je kritérium s největším počtem preferencí, v tomto případě kritérium K<sub>1</sub>

a na posledním místě je kritérium s nejnižším počtem preferencí, v tomto případě kritérium  $K_4$ .

*Tab. 4.3. Stanovení pořadí kritérií podle významnosti*

Kritérium	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	Počet preferencí	Pořadí
$K_1$		1	1	1	1	4	1
$K_2$			3	2	2	2	2
$K_3$				3	5	2	3
$K_4$					5	0	5
$K_5$						2	4

Dále se stanoví nenormovaná váha kritéria. Ta se stanoví ze vztahu 4.1 a vypočítá se normovaná váha kritéria ze vztahu 4.2. [12,13]

#### 4.2.4 Saatyho metoda

Je výhodná v tom, že umožňuje určit pořadí kritérií podle jejich preferencí a určit velikost této preference. Proto tato metoda dává spolehlivější výsledky. U této metody se využívají tzv. deskriptory, které jsou popsány v tabulce 4.5.

*Tab. 4.4. Hodnoty přidělené jednotlivým deskriptorům*

Počet bodů	Deskriptor
1	Kritéria jsou stejně významná.
3	První kritérium je slabě významnější než druhé.
5	První kritérium je dosti významnější než druhé.
7	První kritérium je prokazatelně významnější než druhé.
9	První kritérium je absolutně významnější než druhé.

Deskriptor je ohodnocen počtem bodů. Tyto body udávají, o kolik je kritérium významnější než kritérium, se kterým se porovnává. Tedy udává, jestli jsou kritéria stejně významná, jestli je první kritérium významnější nebo méně významné než druhé kritérium a o kolik.

U této metody se postupuje stejně jako u předchozí metody. Znova se využívá Fullerův trojúhelník, jednotlivá kritéria jsou mezi sebou porovnávána v řádku a ve sloupci. Poté se určí, které kritérium z této dvojice je významnější a tady nastává rozdíl oproti předchozí metodě. Místo toho, aby se do políčka zapsalo číslo preferovaného kritéria, zapíše se zde počet bodů z příslušného deskriptoru.

Pokud je důležitější kritérium v řádku, píše se počet bodů deskriptoru, pokud je důležitější kritérium ve sloupci, píše se převrácená hodnota deskriptoru. Deskriptory popisují, jak významné je kritérium.

*Tab. 4.5. Fullerův trojúhelník podle Saatyho*

Kritérium	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
K <sub>1</sub>		3	1	7	5
K <sub>2</sub>			1	5	5
K <sub>3</sub>				3	3
K <sub>4</sub>					1/5
K <sub>5</sub>					

Z tabulky lze vidět, že při porovnávání kritéria K<sub>1</sub> (kritérium v řádku) s kritériem K<sub>2</sub> (kritérium ve sloupci) je kritérium K<sub>1</sub> významnější než kritérium K<sub>2</sub>. Kritérium K<sub>1</sub> je slabě významnější než kritérium K<sub>2</sub>, proto je v příslušném políčku napsaný počet bodů tohoto deskriptoru, tedy 3. Při porovnávání kritéria K<sub>4</sub> (kritérium v řádku) s kritériem K<sub>5</sub> (kritérium ve sloupci) bylo stanoveno, že kritérium K<sub>5</sub> je důležitější než kritérium K<sub>4</sub> a Kritérium K<sub>5</sub> je dosti významnější než kritérium K<sub>4</sub>. Počet přiřazených bodů je 5, a jelikož je důležitější kritérium ve sloupci než kritérium v řádku je v políčku zapsaná převrácená hodnota, tedy 1/5. Poté se vypočítá geometrický průměr každého kritéria v řádku. Ten se vypočte jako součin mezi hodnotami v řádku, které se potom umocní převrácenou hodnotou, která odpovídá počtu kritérií. Jakmile je znám geometrický průměr, může se přistoupit k výpočtu normované váhy. To se udělá pomocí vzorce:

$$v_i = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad (4.3)$$

kde:  $v_i$  je normovaná váha i-tého kritéria [-]

$n$  je počet kritérií [-]

$G_i$  je geometrický průměr i-tého kritéria [-]

Takto se stanoví normované váhy všech kritérií. [12,13]

### 4.3 Určení vah kritérií

V této kapitole se provede stanovení vah jednotlivým kritériím. Budou použity všechny čtyři metody. Celkem je stanoveno sedm kritérií. V následující tabulce jsou vypsána kritéria a jejich označení.

*Tab. 4.6. Označení jednotlivých kritérií*

Označení	Kritérium
$K_1$	Hmotnost nákladu [kg]
$K_2$	Dolet [km]
$K_3$	MTOM [kg]
$K_4$	Rychlost [km/h]
$K_5$	Objem nákladového prostoru [m <sup>3</sup> ]
$K_6$	Hodinová spotřeba paliva [kg/h]
$K_7$	Náklady na jednosměrný let [€]

#### 4.3.1 Metoda preferenčního pořadí kritérií

Nejdříve se stanoví pořadí každému kritériu podle jeho významnosti. Metoda preferenčního pořadí je použita při výběru letounu pro přepravu nákladu do Švýcarska.

Tab. 4.7. Stanovení pořadí jednotlivým kritériím podle významnosti

Kritérium	Pořadí
K <sub>1</sub>	2
K <sub>2</sub>	7
K <sub>3</sub>	5
K <sub>4</sub>	6
K <sub>5</sub>	3
K <sub>6</sub>	4
K <sub>7</sub>	1

Pořadí číslo jedna dostane nejvýznamnější kritérium a poslední v pořadí bude kritérium, které je nejméně významné. Pro tuto destinaci mají všechny letouny dostatečný dolet. Proto toto kritérium bude nejméně významné. Nejvýznamnějšími kritérii jsou náklady a hmotnost nákladu.

Nyní se vypočítá nenormovaná váha podle vzorce 4.1 a to tak, že se k celkovému počtu kritérií připočítá jednička a odečte se pořadí, které bylo kritériu přiděleno.

$$K_1 = 7 + 1 - 2 = 6$$

$$K_2 = 7 + 1 - 7 = 1$$

$$K_3 = 7 + 1 - 5 = 3$$

$$K_4 = 7 + 1 - 6 = 2$$

$$K_5 = 7 + 1 - 3 = 5$$

$$K_6 = 7 + 1 - 4 = 4$$

$$K_7 = 7 + 1 - 1 = 7$$

A nyní se stanoví normované váhy kritérií podle vzorce 4.2.

$$V_1 = \frac{6}{28} = 0,21$$

$$V_2 = \frac{1}{28} = 0,04$$

$$V_3 = \frac{3}{28} = 0,11$$

$$V_4 = \frac{2}{28} = 0,07$$

$$V_5 = \frac{5}{28} = 0,18$$

$$V_6 = \frac{4}{28} = 0,14$$

$$V_7 = \frac{7}{28} = 0,25$$

### 4.3.2 Metoda alokace 100 bodů

U této metody se přidělují kritériím body podle toho, jak jsou významná. Čím významnější kritérium je, tím více body je ohodnoceno. A čím méně významné je kritérium, tím méně bodů je mu přiděleno. Konečný součet všech přidělených bodů musí být 100. Tato metoda je použita u přepravy do Estonska. Tady je nejvýznamnější kritérium dolet a náklady. Proto tato kritéria získala největší počet bodů. V následující tabulce lze vidět, kolik bodů bylo každému kritériu přiděleno. A následně se stanoví normovaná váha kritéria. Normovaná váha se vypočítá podle vzorce 4.2.

*Tab. 4.8. Počet bodů, které jsou přiřazeny všem kritériím*

Kritérium	Počet bodů
K <sub>1</sub>	15
K <sub>2</sub>	25
K <sub>3</sub>	10
K <sub>4</sub>	5
K <sub>5</sub>	15
K <sub>6</sub>	10
K <sub>7</sub>	20

V dalším kroku jsou spočítány normované váhy kritérií.

$$V_1 = \frac{15}{100} = 0,15$$

$$V_2 = \frac{25}{100} = 0,25$$

$$V_3 = \frac{10}{100} = 0,10$$

$$V_4 = \frac{5}{100} = 0,05$$



$$V_5 = \frac{15}{100} = 0,15$$

$$V_6 = \frac{10}{100} = 0,10$$

$$V_6 = \frac{20}{100} = 0,20$$

### 4.3.3 Metoda párového porovnání

V této metodě se budou kritéria porovnávat mezi sebou. Porovnává se kritérium v řádku s kritériem ve sloupci. V tabulce je vždy zapsán index toho kritéria, které je významnější. Následně se stanoví počet preferencí každého kritéria, a podle tohoto počtu se určí pořadí kritérií. Tato metoda je použita u přepravy do Španělska. Ohodnocení kritérií odpovídá této destinaci. Nejvýznamnějším kritériem je zvolen dolet a náklady. Dalšími významnými kritérii jsou hmotnost nákladu, objem nákladového prostoru a spotřeba paliva. Nižší váhou jsou ohodnocena kritéria MTOM a rychlost.

Tab. 4.9. Fullerův trojúhelník, stanovení počtu preferencí a pořadí kritérií

Kritérium	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	Počet preferencí	Pořadí Kritéria
K <sub>1</sub>		2	1	1	1	1	7	4	3
K <sub>2</sub>			2	2	2	2	2	6	1
K <sub>3</sub>				3	5	6	7	1	6
K <sub>4</sub>					5	6	7	0	4
K <sub>5</sub>						5	7	3	4
K <sub>6</sub>							7	2	5
K <sub>7</sub>								5	2

Nyní se vypočítá nenormovaná váha podle vzorce 4.1.

$$K_1 = 7 + 1 - 3 = 5$$

$$K_2 = 7 + 1 - 1 = 7$$

$$K_3 = 7 + 1 - 6 = 2$$

$$K_4 = 7 + 1 - 7 = 1$$

$$K_5 = 7 + 1 - 4 = 4$$

$$K_6 = 7 + 1 - 5 = 3$$

$$K_6 = 7 + 1 - 2 = 6$$

A nyní se stanoví normované váhy kritérií podle vzorce 4.2.

$$V_1 = \frac{5}{28} = 0,18$$

$$V_2 = \frac{7}{28} = 0,25$$

$$V_3 = \frac{2}{28} = 0,07$$

$$V_4 = \frac{1}{28} = 0,04$$

$$V_5 = \frac{4}{28} = 0,14$$

$$V_6 = \frac{3}{28} = 0,11$$

$$V_7 = \frac{6}{28} = 0,21$$

#### 4.3.4 Saatyho metoda

V této metodě se porovnávají mezi sebou dvě kritéria a do políčka ve Fullerově trojúhelníku se zapíše počet bodů, kterými je deskriptor ohodnocen.

*Tab. 4.10. Fullerův trojúhelník podle Saatyho metody*

Kritérium	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	Geometrický průměr
K <sub>1</sub>	1	7	5	9	3	3	1/5	2,47
K <sub>2</sub>	1/7	1	1/5	3	1/5	1/5	1/9	0,32
K <sub>3</sub>	1/5	5	1	7	1/5	1/5	1/9	0,61
K <sub>4</sub>	1/9	1/3	1/7	1	1/7	1/5	1/9	0,20
K <sub>5</sub>	1/3	5	5	7	1	3	1/5	1,66
K <sub>6</sub>	1/3	5	5	5	1/3	1	1/5	1,16
K <sub>7</sub>	5	9	9	9	5	5	1	5,11

Tato metoda je použita pro přepravu do Itálie a do Nizozemí. Většina letounů má dostatečný dolet do těchto destinací. Významnějšími kritérii jsou náklady, hmotnost nákladu, objem nákladového prostoru a spotřeba paliva.

A nyní se vypočítají normované váhy všech kritérií podle vzorce 4.3 a to tak, že geometrický průměr u kritéria se vydělí součtem všech geometrických průměrů.

$$V_1 = \frac{2,47}{11,53} = 0,22$$

$$V_2 = \frac{0,32}{11,53} = 0,03$$

$$V_3 = \frac{0,61}{11,53} = 0,05$$

$$V_4 = \frac{0,20}{11,53} = 0,02$$

$$V_5 = \frac{1,66}{11,53} = 0,14$$

$$V_6 = \frac{1,16}{11,53} = 0,10$$

$$V_7 = \frac{5,11}{11,53} = 0,44$$

## 5. Výběr letounů pomocí metod vícekritériálního rozhodování

AMC Air Move Cargo má ve flotile 9 letounů. Každá destinace má jiné požadavky na přepravovaný náklad. Proto se bude pomocí metod vícekritériálního rozhodování vybírat pro každou destinaci vhodný letoun z flotily na základě kritérií a přepravovaného nákladu. Cílem je vybrat jeden vhodný letoun, který bude přepravovat náklad do cílové destinace. Jeden letoun může obsluhovat více destinací. Pokud letoun nebude schopen přepravit všechnen náklad najednou, je možné rozdělit náklad a tento letoun jej bude přepravovat po částech. Letouny jsou porovnávány i podle nákladu na let. Tyto náklady jsou stanovené jako celkové náklady na let za přepravu celého nákladu.

### 5.1 Flotila

#### Beechcraft 1900D



*Obr. 5.1. Nákladní letoun B1900 [14]*

B1900D je varianta M<sub>1</sub>. Jde o dolnoplošník vybaven dvěma turboprotulovými motory. Jeho maximální šířka nákladového prostoru je 137cm. Výška nákladového prostoru je 180cm. Délka nákladového prostoru je 1 034cm. Rozměr předních dveří je 163cm x 69cm. Rozměry zadních nákladových dveří jsou 145cm x 132cm. [14]



*Obr. 5.2. Nákladní dveře u B1900 [14]*

### Technická specifikace podle destinací

#### Itálie

Max. hmotnost nákladu	3 339 kg
Hmotnost paliva	557 kg
Dolet	593 km
MTOM	7 982 kg
Rychlost	525 km/h
Objem náklad. Prostoru	17 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	332 kg/h
Náklady na let	11 600 €

#### Švýcarsko

Max. hmotnost nákladu	3 443 kg
Hmotnost paliva	453 kg
Dolet	593 km
MTOM	7 982 kg
Rychlost	525 km/h
Objem náklad. Prostoru	17 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	332 kg/h
Náklady na let	6 092 €

#### Španělsko

Max. hmotnost nákladu	2 607 kg
Hmotnost paliva	1 289 kg
Dolet	593 km
MTOM	7 982 kg
Rychlost	525 km/h
Objem náklad. Prostoru	17 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	332 kg/h
Náklady na let	28 897 €

#### Estonsko

Max. hmotnost nákladu	2 956 kg
Hmotnost paliva	940 kg
Dolet	593 km
MTOM	7 982 kg
Rychlost	525 km/h
Objem náklad. Prostoru	17 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	332 kg/h
Náklady na let	12 652 €

#### Nizozemí

Max. hmotnost nákladu	3 408 kg
Hmotnost paliva	488 kg
Dolet	593 km
MTOM	7 982 kg
Rychlost	525 km/h
Objem náklad. Prostoru	17 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	332 kg/h
Náklady na let	6 560 €

## Embraer 120



*Obr. 5.3. Embraer 120 freighter [15]*

EMB 120 je varianta M<sub>2</sub>. Jedná se o dolnoplošník poháněný dvěma turbovrtulovými motory. Jeho maximální šířka nákladového prostoru je 210cm. Výška nákladového prostoru je 176cm. Délka nákladového prostoru je 938cm. Nákladové dveře mají rozměry 127cm x 124cm. [16]



*Obr. 5.4. Vnitřek nákladového prostoru [17]*

### Technická specifikace podle destinací

Itálie		Švýcarsko	
Max. hmotnost nákladu	2 788 kg	Max. hmotnost nákladu	2 887 kg
Hmotnost paliva	532 kg	Hmotnost paliva	433 kg
Dolet	1 481 km	Dolet	1 481 km
MTOM	11 990 kg	MTOM	11 990 kg
Rychlost	574 km/h	Rychlost	574 km/h
Objem náklad. prostoru	31 m <sup>3</sup>	Objem náklad. prostoru	31 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	317 kg/h	Spotřeba paliva	317 kg/h
Náklady na let	1 885 €	Náklady na let	2 900 €

### Španělsko

Max. hmotnost nákladu	2 088 kg
Hmotnost paliva	1 232 kg
Dolet	1 481 km
MTOM	11 990 kg
Rychlost	574 km/h
Objem náklad. prostoru	31 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	317 kg/h
Náklady na let	26 825

### Estonsko

Max. hmotnost nákladu	2 422 kg
Hmotnost paliva	898 kg
Dolet	1 481 km
MTOM	11 990 kg
Rychlost	574 km/h
Objem náklad. prostoru	31 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	317 kg/h
Náklady na let	19 575 €

### Nizozemí

Max. hmotnost nákladu	2 854 kg
Hmotnost paliva	466 kg
Dolet	1 481 km
MTOM	11 990 kg
Rychlost	574 km/h
Objem náklad. prostoru	31 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	317 kg/h
Náklady na let	6 090 €

### **Saab 340A**

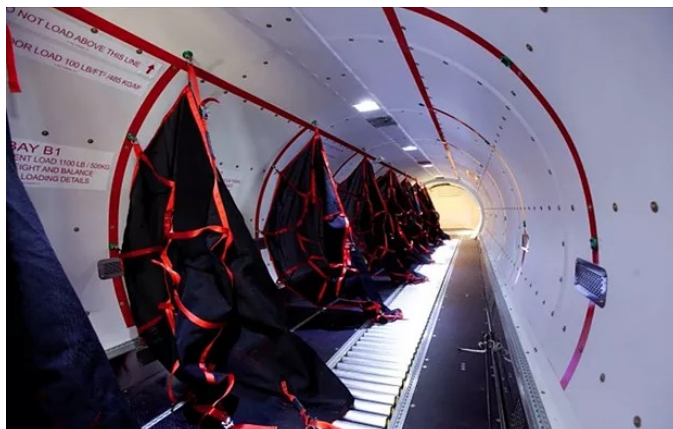


*Obr. 5.5. Saab 340 [18]*

Saab je varianta M<sub>3</sub>. Je to dolnoplošník poháněný turbovrtulovými motory. Šířka vnitřního prostoru je 170cm a výška vnitřního nákladového prostoru je 175cm. Délka



nákladového prostoru je 1 108cm. Nákladové dveře mají rozměry 135cm x 130cm. Tento letoun je určen na krátké vzdálenosti. [19,20]



*Obr. 5.6. Nákladní prostor Saab 340A [18]*

#### Technická specifikace podle destinací

##### Itálie

Max. hmotnost nákladu	3 015 kg
Hmotnost paliva	860 kg
Dolet	893 km
MTOM	12 930 kg
Rychlost	450 km/h
Objem náklad. prostoru	36 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	431 kg/h
Náklady na let	6 270 €

##### Švýcarsko

Max. hmotnost nákladu	3 174 kg
Hmotnost paliva	701 kg
Dolet	893 km
MTOM	12 930 kg
Rychlost	450 km/h
Objem náklad. prostoru	36 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	431 kg/h
Náklady na let	5 115 €

##### Španělsko

Max. hmotnost nákladu	2 210 kg
Hmotnost paliva	1 665 kg
Dolet	893 km
MTOM	12 930 kg
Rychlost	450 km/h
Objem náklad. prostoru	36 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	431 kg/h
Náklady na let	20 240 €

##### Estonsko

Max. hmotnost nákladu	2 373 kg
Hmotnost paliva	1 502 kg
Dolet	893 km
MTOM	12 930 kg
Rychlost	450 km/h
Objem náklad. prostoru	36 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	431 kg/h
Náklady na let	18 260 €

Nizozemí

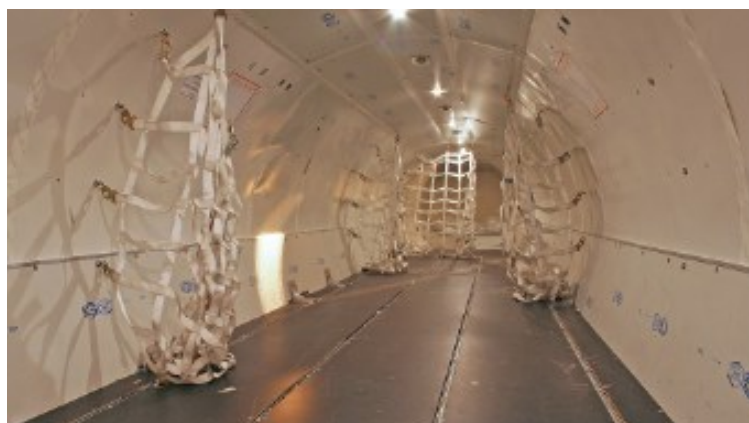
Max. hmotnost nákladu	2 970 kg
Hmotnost paliva	905 kg
Dolet	893 km
MTOM	12 930 kg
Rychlost	450 km/h
Objem náklad. prostoru	36 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	431 kg/h
Náklady na let	6 600 €

### **ATR 72 – 200**



*Obr. 5.7. ATR 72 cargo [21]*

ATR 72, varianta M<sub>4</sub>, je hornoplošník, poháněný turbovrtulovými motory. Šířka nákladového prostoru je 274cm a výška tohoto prostoru je 185cm. Délka nákladového prostoru je 1 896cm. Přední dveře mají rozměry 156cm x 130cm na výšku. Zadní dveře jsou o rozměrech 75cm x 172cm. [22]



*Obr. 5.8. Vnitřní prostor ATR 72 [21]*

### Technická specifikace podle destinací

#### Itálie

Max. hmotnost nákladu	7 292 kg
Hmotnost paliva	1 008 kg
Dolet	1 614 km
MTOM	22 000 kg
Rychlost	526 km/h
Objem náklad. prostoru	75 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	600 kg/h
Náklady na let	2 760 €

#### Švýcarsko

Max. hmotnost nákladu	7 481 kg
Hmotnost paliva	819 kg
Dolet	1 614 km
MTOM	22 000 kg
Rychlost	526 km/h
Objem náklad. prostoru	75 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	600 kg/h
Náklady na let	2 243 €

#### Španělsko

Max. hmotnost nákladu	5 969 kg
Hmotnost paliva	2 331 kg
Dolet	1 614 km
MTOM	22 000 kg
Rychlost	526 km/h
Objem náklad. prostoru	75 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	600 kg/h
Náklady na let	6 383 €

#### Estonsko

Max. hmotnost nákladu	6 599 kg
Hmotnost paliva	1 701 kg
Dolet	1 614 km
MTOM	22 000 kg
Rychlost	526 km/h
Objem náklad. prostoru	75 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	600 kg/h
Náklady na let	4 658 €

#### Nizozemí

Max. hmotnost nákladu	7 418 kg
Hmotnost paliva	882 kg
Dolet	1 614 km
MTOM	22 000 kg
Rychlost	526 km/h
Objem náklad. prostoru	75 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	600 kg/h
Náklady na let	2 415 €

## ATR 42 – 300



*Obr. 5.9. ATR 42 cargo[23]*

ATR 42 je varianta M<sub>5</sub>. Jde o turbovrtulový letoun. Je to hornoplošník, výška nákladového prostoru je 175cm, šířka nákladového prostoru je 226cm. Výška nákladového prostoru je 142cm. Nákladní dveře mají rozměry 294cm x 180cm. [24]



*Obr. 5.10. Vnitřek ATR 42 a nákladové dveře [24]*

### Technická specifikace podle destinací

#### Itálie

Max. hmotnost nákladu	4 346 kg
Hmotnost paliva	954 kg
Dolet	1 130 km
MTOM	16 900 kg
Rychlost	526 km/h
Objem náklad. prostoru	54 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	568 kg/h
Náklady na let	6 960 €

#### Švýcarsko

Max. hmotnost nákladu	4 526 kg
Hmotnost paliva	774 kg
Dolet	1 130 km
MTOM	16 900 kg
Rychlost	526 km/h
Objem náklad. prostoru	54 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	568 kg/h
Náklady na let	5 655 €

### Španělsko

Max. hmotnost nákladu	3 093 kg
Hmotnost paliva	2 207 kg
Dolet	1 130 km
MTOM	16 900 kg
Rychlost	526 km/h
Objem náklad. prostoru	54 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	568 kg/h
Náklady na let	16 095 €

### Estonsko

Max. hmotnost nákladu	3 690 kg
Hmotnost paliva	1 610 kg
Dolet	1 130 km
MTOM	16 900 kg
Rychlost	526 km/h
Objem náklad. prostoru	54 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	568 kg/h
Náklady na let	11 745 €

### Nizozemí

Max. hmotnost nákladu	4 466 kg
Hmotnost paliva	834 kg
Dolet	1 130 km
MTOM	16 900 kg
Rychlost	526 km/h
Objem náklad. prostoru	54 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	568 kg/h
Náklady na let	2 030 €

## **Fokker 50**



*Obr. 5.11. Fokker 50 freighter [25]*

Je variantou M<sub>6</sub>. Fokker je nákladní letoun poháněný turbovrtulovými motory. Jde o hornoplošník se dvěma nakládacími dveřmi. Přední dveře jsou o velikosti 234cm x 177cm. Zadní dveře jsou o velikosti 86cm x 127cm. Vnitřní nákladní prostor je vysoký 198cm a široký 249cm. Využitelná délka nákladového prostoru je 1 145cm. [26]



Obr. 5.12. Nákladový prostor pro Fokker 50 [27]

#### Technická specifikace podle destinací

##### Itálie

Max. hmotnost nákladu	5 892 kg
Hmotnost paliva	1 208 kg
Dolet	1 090 km
MTOM	19 950 kg
Rychlost	500 km/h
Objem náklad. prostoru	60 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	606 kg/h
Náklady na let	4 100 €

##### Švýcarsko

Max. hmotnost nákladu	6 115 kg
Hmotnost paliva	985 kg
Dolet	1 090 km
MTOM	19 950 kg
Rychlost	500 km/h
Objem náklad. prostoru	60 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	606 kg/h
Náklady na let	3 345 €

##### Španělsko

Max. hmotnost nákladu	4 759 kg
Hmotnost paliva	2 341 kg
Dolet	1 090 km
MTOM	19 950 kg
Rychlost	500 km/h
Objem náklad. prostoru	60 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	606 kg/h
Náklady na let	23 842 €

##### Estonsko

Max. hmotnost nákladu	4 989 kg
Hmotnost paliva	2 111 kg
Dolet	1 090 km
MTOM	19 950 kg
Rychlost	500 km/h
Objem náklad. prostoru	60 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	606 kg/h
Náklady na let	21 494 €

##### Nizozemí

Max. hmotnost nákladu	5 828 kg
Hmotnost paliva	1 272 kg
Dolet	1 090 km



MTOM	19 950 kg
Rychlost	500 km/h
Objem náklad. prostoru	60 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	606 kg/h
Náklady na let	4 316 €

### **Antonov AN 26**



*Obr. 5.13. AN 26 [28]*

Antonov AN 26, varianta M<sub>7</sub>, je hornoplošník, poháněný dvěma turbovrtulovými pohony. Vnitřní prostor je vysoký 184cm a široký 278cm. Nákladový prostor je dlouhý 1 248cm. Nákladové dveře jsou o rozměru 60cm x 140cm. V zadní části letounu je rampa, která slouží k pohodlnějšímu vložení nákladu.[28]



*Obr. 5.14. Nákladní prostor AN 26 [28]*



*Obr. 5.15. AN 26 ve vzduchu [28]*

### Technická specifikace podle destinací

#### Itálie

Max. hmotnost nákladu	4 704 kg
Hmotnost paliva	1 596 kg
Dolet	1 100 km
MTOM	24 000 kg
Rychlost	435 km/h
Objem náklad. prostoru	61 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	800 kg/h
Náklady na let	7 268 €

#### Švýcarsko

Max. hmotnost nákladu	4 998 kg
Hmotnost paliva	1 302 kg
Dolet	1 100 km
MTOM	24 000 kg
Rychlost	435 km/h
Objem náklad. prostoru	61 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	800 kg/h
Náklady na let	1 976 €

#### Španělsko

Max. hmotnost nákladu	3 209 kg
Hmotnost paliva	3 091 kg
Dolet	1 100 km
MTOM	24 000 kg
Rychlost	435 km/h
Objem náklad. prostoru	61 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	800 kg/h
Náklady na let	14 076 €

#### Estonsko

Max. hmotnost nákladu	3 512 kg
Hmotnost paliva	2 788 kg
Dolet	1 100 km
MTOM	24 000 kg
Rychlost	435 km/h
Objem náklad. prostoru	61 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	800 kg/h
Náklady na let	12 699 €

#### Nizozemí

Max. hmotnost nákladu	4 620 kg
Hmotnost paliva	1 680 kg
Dolet	1 100 km
MTOM	24 000 kg
Rychlost	435 km/h
Objem náklad. prostoru	61 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	800 kg/h
Náklady na let	2 550 €

## Beechcraft King Air B200



*Obr. 5.16. Beech King Air B200 [29]*

Beechcraft, varianta M<sub>8</sub>, je dolnoplošník, poháněný turbovrtulovými motory. Šířka nákladového prostoru je 137cm a výška je 145cm. Rozměry nákladních dveří jsou 68cm x 131cm. Tento letoun je využíván i pro leteckou přepravu pacientů. [30]



*Obr. 5.17. Uložení nákladu v letounu [31]*



*Obr. 5.18. Nakládka nákladu do letounu [32]*

### Technická specifikace podle destinací

#### Itálie

Max. hmotnost nákladu	1 194 kg
Hmotnost paliva	634 kg
Dolet	1 300 km
MTOM	5 670 kg
Rychlost	540 km/h
Objem náklad. prostoru	10,09 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	378 kg/h
Náklady na let	19 180 €

#### Švýcarsko

Max. hmotnost nákladu	1 313 kg
Hmotnost paliva	515 kg
Dolet	1 300 km
MTOM	5 670 kg
Rychlost	540 km/h
Objem náklad. prostoru	10,09 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	378 kg/h
Náklady na let	12 121 €

### Španělsko

Max. hmotnost nákladu	360 kg
Hmotnost paliva	1 468 kg
Dolet	1 300 km
MTOM	5 670 kg
Rychlost	540 km/h
Objem náklad. prostoru	10,09 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	378 kg/h
Náklady na let	162 637 €

### Estonsko

Max. hmotnost nákladu	756 kg
Hmotnost paliva	1 072 kg
Dolet	1 300 km
MTOM	5 670 kg
Rychlost	540 km/h
Objem náklad. prostoru	10,09 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	378 kg/h
Náklady na let	53 946 €

### Nizozemí

Max. hmotnost nákladu	1 299 kg
Hmotnost paliva	529 kg
Dolet	1 300 km
MTOM	5 670 kg
Rychlost	540 km/h
Objem náklad. prostoru	10,09 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	378 kg/h
Náklady na let	16 783 €

## **Fokker F27 – 600**



*Obr. 5.19. Fokker F27 [33]*

Fokker 27, varianta M<sub>9</sub>, je hornoplošník, poháněný dvěma turbovrtulovými motory. Maximální šířka vnitřního prostoru je 213cm. Výška vnitřního prostoru je 182cm. Nákladový prostor je dlouhý 192cm. Nákladní dveře jsou o rozměrech 180cm x 230cm. Tento letoun je určen na krátké až střední vzdálenosti. [33]



Obr. 5.20. Prostor pro náklad v letounu Fokker F27 [34]

#### Technická specifikace podle destinací

##### Itálie

Max. hmotnost nákladu	5 003 kg
Hmotnost paliva	997 kg
Dolet	1 055 km
MTOM	20 412 kg
Rychlost	479 km/h
Objem náklad. prostoru	75 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	500 kg/h
Náklady na let	7 068 €

##### Švýcarsko

Max. hmotnost nákladu	5 187 kg
Hmotnost paliva	813 kg
Dolet	1 055 km
MTOM	20 412 kg
Rychlost	479 km/h
Objem náklad. prostoru	75 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	500 kg/h
Náklady na let	1 922 €

##### Španělsko

Max. hmotnost nákladu	4 068 kg
Hmotnost paliva	1 932 kg
Dolet	1 055 km
MTOM	20 412 kg
Rychlost	479 km/h
Objem náklad. prostoru	75 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	500 kg/h
Náklady na let	13 689 €

##### Estonsko

Max. hmotnost nákladu	4 257 kg
Hmotnost paliva	1 743 kg
Dolet	1 055 km
MTOM	20 412 kg
Rychlost	479 km/h
Objem náklad. prostoru	75 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	500 kg/h
Náklady na let	12 350 €

##### Nizozemí

Max. hmotnost nákladu	4 950 kg
Hmotnost paliva	1 050 kg
Dolet	1 055 km

MTOM	20 412 kg
Rychlost	479 km/h
Objem náklad. prostoru	75 m <sup>3</sup>
Spotřeba paliva	500 kg/h
Náklady na let	2 480 €

Celkem budou použity čtyři metody, kterými bude vybírán vhodný letoun. A to pomocí metody váženého pořadí, metody založené na přímém stanovení dílčího ohodnocení, metody lineárních dílčích funkcí užitku a metody bazické varianty. Pomocí těchto metod se zvolené varianty seřadí podle významnosti kritérií.

## 5.2 Jednoduché metody stanovení hodnoty (užitku) variant

Pomocí těchto metod je vybrána nejvhodnější varianta ze všech možných variant, anebo se stanoví preferenční uspořádání variant, to znamená seřazení všech variant podle celkové výhodnosti. Při hodnocení variant pomocí těchto metod, se vychází ze stanovených hodnocení kritérií, tyto metody ve svých výpočtech zahrnují normované váhy kritérií. Proto by zvolená varianta měla být nejlepší z hlediska celého souboru kritérií.

V praxi se často nestává, že vyjde pouze jedna varianta, která je podle zvolených kritérií ta nejvhodnější. Každá varianta má jiné hodnoty kritérií. V některých kritériích je tato varianta lepší než ostatní varianty a v jiných kritériích je zase tato varianta méně vhodná než jiné varianty.

Tyto jednoduché metody se využívají v případech, kdy převažují kvantitativní kritéria. Každé variantě je přiřazen užitek pomocí užitková funkce. Tato funkce měří, jak velký užitek varianta podle kritéria uživateli přináší. Užitek je vyjádřen reálným číslem, čím je toto číslo vyšší, tím více si hodnotitel dané varianty cení. Celkové ohodnocení variant se stanovuje jako vážený součet dílčích ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím. [12]



### 5.2.1 Metoda váženého pořadí

Tato metoda vychází pouze z pořadí variant posuzovaných podle kritérií, nezohledňuje rozdíly mezi hodnotami kritérií. Proto se tato metoda hodí spíše pro kvalitativní kritéria. U kvantitativních kritérií dává tato metoda velmi hrubý odhad nejvhodnější varianty ze všech možných variant.

Všechny varianty letounů se posuzují podle jednoho kritéria a přiřazuje se jim pořadí. Varianta, u níž je kritérium nejlepší dostane pořadí 1. Takto se postupně přiřazuje pořadí všem letounům. Poté se přejde na kritérium, které je další v pořadí a celý proces se opakuje znova. Pokud jsou některé varianty letounů na stejném místě, jejich pořadí se sečte a vydělí se počtem letounů na stejném místě. Následně se stanoví dílčí ohodnocení  $j$ -té varianty vzhledem k  $i$ -tému kritériu vzorcem:

$$h_i^j = m + 1 - p_i^j \quad (5.1)$$

kde:  $m$  je počet variant [-]

$p_i^j$  je pořadí  $j$ -té varianty vzhledem k  $i$ -tému kritériu [-]

Při dosažení do tohoto vzorce lze zjistit, že dílčí ohodnocení nejlepších variant podle jednotlivých kritérií je roven právě počtu kritérií. Pokud je k dispozici 5 variant, potom varianty, které jsou nejlepší vzhledem k jednotlivým kritériím, a jsou tedy umístěné na prvním místě v pořadí, mají dílčí ohodnocení rovno 5. Dílčí ohodnocení nejhorších variant podle jednotlivých kritérií je rovno 1.

A poté už lze stanovit celkové ohodnocení varianty. Vzorec pro výpočet:

$$H^j = \sum_{i=1}^n v_i \cdot h_i^j \text{ pro } j = 1, \dots, m \quad (5.2)$$

kde:  $v_i$  je normovaná váha  $i$ -tého kritéria [-]

$m$  je počet variant [-]

$h_i^j$  je dílčí ohodnocení  $j$ -té varianty vzhledem k  $i$ -tému kritériu [-]

Pro jednu variantu letounu se nejdříve dílčí ohodnocení vynásobí váhou kritéria a přičte se k němu dílčí ohodnocení násobené váhou druhého kritéria a tak se pokračuje, dokud se nepřičtou násobky všech dílčích ohodnocení varianty s váhou kritéria. [12]

### **5.2.2 Metoda založená na přímém (expertním) stanovení dílčích ohodnocení**

Jedná se o subjektivní metodu, ve které dílčí ohodnocení variant stanovuje sám hodnotitel. Využívá k tomu bodovou stupnici, nejčastěji od 1 do 10, kde 1 bod je nejhorší a 10 bodů je nejlepší hodnota u daného kritéria. Výhodou této metody je její jednoduchost a srozumitelnost. Nevýhodou je vyšší subjektivita, kdy hodnotitel rozděluje body podle svého uvážení. Celkové ohodnocení varianty se stanoví ze vzorce 5.2. [12]

### **5.2.3 Metoda lineárních dílčích funkcí užitku**

Výhoda této metody spočívá v tom, že snižuje subjektivitu stanovení dílčích ohodnocení variant, pokud jsou zvolená kritéria kvantitativní povahy. Subjektivní hodnocení se stanovuje pouze u kritérií kvalitativní povahy.

Dílčí ohodnocení variant se stanovuje v závislosti na povaze kritérií. Tady se kritéria musejí rozlišovat podle toho, zda se jedná o kritéria kvantitativního charakteru nebo kvalitativního charakteru. U kvalitativních kritérií se dílčí ohodnocení stanovuje přiřazením bodů ze zvolené bodové stupnice, jako to bylo u předešlé metody 5.2.2. U kvantitativních kritérií se předpokládá lineární tvar dílčí funkce užitku. Pro nejhorší hodnotu daného kritéria  $x_i^0$  nabývá dílčí funkce užitku hodnoty 0. Pro nejlepší hodnotu u daného kritéria  $x_i^*$  nabývá dílčí funkce užitku hodnoty 1. Spojnice těchto bodů jsou pak zobrazením lineárních dílčích funkcí užitku. Dílčí ohodnocení varianty se pak stanoví ze vzorce:

$$h_i^j = \frac{x_i^j - x_i^0}{x_i^* - x_i^0} \quad (5.3)$$

kde:  $x_i^*$  je nejlepší hodnota u daného kritéria

$x_i^0$  je nejhorší hodnota u daného kritéria

$x_i^j$  je hodnota u daného kritéria

A nakonec se stanoví celkové ohodnocení varianty ze vzorce 5.2. [12]

#### 5.2.4 Metoda bazické varianty

Stanoví se bazická hodnota a to tak, že se vybere nejlepší hodnota kritéria ze všech variant letounů. Nebo se bazická hodnota stanoví jako požadovaná (cílová) hodnota. Dílčí ohodnocení variant se stanoví porovnáním důsledků variant vždy s hodnotami bazické varianty. Tato metoda se používá hlavně pro kritéria kvantitativního typu. U této metody je třeba rozlišovat, jestli se jedná o kritéria výnosového nebo nákladového typu. Pro kritéria výnosového typu se dílčí ohodnocení varianty zjistí jako podíl hodnoty porovnávaného kritéria a hodnoty bazické varianty.

$$h_i^j = \frac{x_i^j}{x_i^b} \quad (5.4)$$

kde:  $x_i^j$  je hodnota u daného kritéria

$x_i^b$  je hodnota bazické varianty

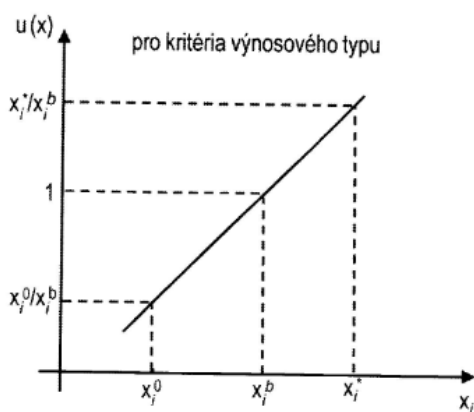
Vzorec pro výpočet dílčího ohodnocení varianty podle kritéria nákladového typu je odlišná od předchozího vzorce v tom, že tady jde o podíl hodnoty bazické varianty s hodnotou zrovna porovnávaného kritéria:

$$h_i^j = \frac{x_i^b}{x_i^j} \quad (5.5)$$

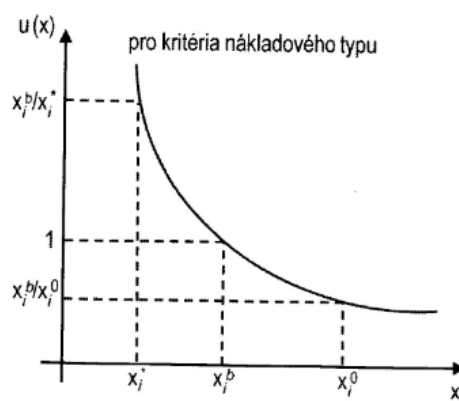
kde:  $x_i^j$  je hodnota u daného kritéria

$x_i^b$  je hodnota bazické varianty

U kritéria výnosového typu se zpravidla předpokládají lineární dílčí funkce užitku a lze je zobrazit přímkami. Pro kritéria nákladového typu mají dílčí funkce užitku tvar hyperbol s definičním oborem  $\langle x_i^*, x_i^0 \rangle$ .



Obr. 5.21. Dílčí funkce užitku pro kritéria výnosového typu [12]



Obr. 5.22. Dílčí funkce užitku pro kritéria nákladového typu [12]

A na závěr se vypočítá celkové ohodnocení varianty ze vzorce 5.2. [12]

### 5.3 Užití metod stanovení hodnoty (užitku) variant

V této kapitole se stanoví hodnoty užitku variant podle postupů uvedených v kapitole 5.2. Jsou využity všechny metody. Tyto metody ke stanovení celkového užitku využívají stanovené váhy kritérií, které se stanovily v kapitole 4.3. Když se stanoví celkové ohodnocení variant, porovnají se jednotlivé varianty letounu mezi sebou podle tohoto ohodnocení. Čím je ohodnocení vyšší, tím výhodnější tato varianta letounu je. Toto porovnání variant se provede u každé metody zvlášť. Ve výsledku je stanoveno preferenční pořadí variant letounů, tyto varianty jsou seřazeny od nejvýhodnějšího do nejméně výhodného letounu.

V následující tabulce lze vidět váhy jednotlivých kritérií, které byly stanoveny metodou preferenčního pořadí, metodou alokace 100 bodů, metodou párového porovnání a Saatyho metodou. Čím vyšší je váha kritéria, tím významnější toto kritérium je.

*Tab. 5.1. Váhy kritérií podle různých metod*

	Metoda preferenčního pořadí	Metoda alokace 100 bodů	Metoda párového porovnání	Saatyho metoda
K <sub>1</sub>	0,21	0,15	0,18	0,22
K <sub>2</sub>	0,04	0,25	0,25	0,03
K <sub>3</sub>	0,11	0,10	0,07	0,05
K <sub>4</sub>	0,07	0,05	0,04	0,02
K <sub>5</sub>	0,18	0,15	0,14	0,14
K <sub>6</sub>	0,14	0,10	0,11	0,10
K <sub>7</sub>	0,25	0,20	0,21	0,44

### 5.3.1 Volba letounu pro přepravu nákladu do Itálie

Pro volbu nejvhodnějšího letounu bude použita metoda váženého pořadí a pro stanovení vah se využije Saatyho metoda. Každé variantě letounu se přiřazuje pořadí podle významnosti. Všechny varianty se posuzují vždy podle jednoho kritéria. Do Itálie se má převážet náklad o celkové hmotnosti 5 764 kg. Vzdálenost mezi letišti je 647 km. Na základě těchto parametrů se zvolí pořadí variant podle hodnot kritérií. Podle MTOM se stanovují poplatky za použití vzletové a přistávací dráhy. Proto čím nižší tato hodnota je, tím nižší budou náklady. Rychlost není tak významným kritériem jako ostatní kritéria, a proto je ohodnoceno nejmenší vahou. Minimální potřebný objem nákladového prostoru pro tento náklad je 19,94 m<sup>3</sup>. Spotřeba paliva představuje významnou položku v nákladech, a proto se na první místa umístily varianty letounů s nižší hodinovou spotřebou paliva. Významným kritériem je hmotnost nákladu, která letoun přepraví. Podle hmotnosti, se stanoví, kolikrát musí letoun do destinace letět. Dalším významným kritériem jsou náklady na letovou hodinu. Podle těchto nákladů se určí, zda je výhodnější letět do destinace víckrát za nižší náklady, nebo jestli je výhodnější přepravit celý náklad najednou.

Tab. 5.2. Metoda váženého pořadí

	Varianta letounu																	
	M <sub>1</sub>		M <sub>2</sub>		M <sub>3</sub>		M <sub>4</sub>		M <sub>5</sub>		M <sub>6</sub>		M <sub>7</sub>		M <sub>8</sub>		M <sub>9</sub>	
	p <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>
K <sub>1</sub>	6	4	8	2	7	3	1	9	5	5	2	8	4	6	9	1	3	7
K <sub>2</sub>	9	1	2	8	8	2	1	9	4	6	6	4	5	5	3	7	7	3
K <sub>3</sub>	2	8	3	7	4	6	8	2	5	5	6	4	9	1	1	9	7	3
K <sub>4</sub>	5	5	1	9	8	2	3,5	6,5	3,5	6,5	6	4	9	1	2	8	7	3
K <sub>5</sub>	8	2	7	3	6	4	1,5	8,5	5	5	4	6	3	7	9	1	1,5	8,5
K <sub>6</sub>	2	8	1	9	4	6	7	3	6	4	8	2	9	1	3	7	5	5
K <sub>7</sub>	8	2	1	9	3	7	2	8	4	6	3	7	6	4	9	1	5	5

Metoda váženého pořadí nebere v úvahu rozdíly mezi hodnotami kritérií. Proto je pro přesnější volbu letounu použita pro stanovení vah Saatyho metoda. Tato metoda patří mezi metody, které dávají spolehlivější výsledky. Saatyho metoda kromě stanovení pořadí kritérií podle jejich významnosti také určí velikost jejich významnosti. Celkové ohodnocení variant se stanoví podle vzorce 5.2.

Tab. 5.3. Celkové ohodnocení variant u přepravy do Itálie

Celkové ohodnocení variant									
Varianta	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
Celkové ohodnocení	2,49	2,53	2,22	3,97	2,76	3,20	2,62	1,88	3,53
Pořadí	7	6	8	1	4	3	5	9	2

Jako nejvhodnější varianta byla zvolena varianta M<sub>4</sub>. Je to letoun ATR 72. Významným kritériem je hmotnost nákladu. Tento letoun přepraví všechny náklad najednou. ATR 72 má dostatečný dolet do této destinace. Nejvýznamnějším kritériem jsou náklady na letovou hodinu, vzhledem k tomu, že přeprava se uskuteční najednou, do cílové destinace se poletí jednou, jsou náklady spojené s provedením letu nejnižší v porovnání s ostatními letouny.

### 5.3.2 Volba letounu pro přepravu nákladu do Švýcarska

Vhodný letoun se stanoví pomocí metody založené na přímém stanovení dílčích ohodnocení a váhy se stanoví metodou preferenčního pořadí. V této metodě se jednotlivým variantám přidělují body vždy podle jednoho kritéria. To znamená, že podle kritéria K<sub>1</sub> se bude porovnávat všech 9 variant. A to tak, že se jim přiřadí počet bodů z 10 bodové stupnice. Čím více bodů varianta dostane, tím je významnější než ostatní varianta pro kritérium K<sub>1</sub>. Varianta, které dostane nejméně bodů, je nejméně významná varianta podle zvoleného kritéria. Takto jsou stanoveny dílčí ohodnocení všech variant podle jednotlivých kritérií. A následně je podle vzorce 5.2 stanoveno celkové ohodnocení variant.

Do Curychu se má přepravit náklad o celkové hmotnosti 4 750 kg. Vzdálenost mezi letišti je 512 km. Minimální potřebný objem nákladového prostoru pro tento náklad je 19,38 m<sup>3</sup>.

Metoda preferenčního pořadí stanoví pouze pořadí kritérií, ale nevyjadřuje jejich významnost. Metoda založená na přímém stanovení dílčích ohodnocení přidělením určitého počtu bodů vyjádří jak významná je varianta podle daného kritéria a stanoví spolehlivější výsledek.

Tab. 5.4. Metoda založená na přímém stanovení dílčích ohodnocení

Kritérium	Varianta								
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
K <sub>1</sub>	4	3	3	8	4	8	10	1	10
K <sub>2</sub>	10	10	10	10	10	10	10	10	10
K <sub>3</sub>	9	8	8	4	6	5	3	9	4
K <sub>4</sub>	6	6	5	6	6	6	5	6	5
K <sub>5</sub>	1	10	10	10	10	10	10	10	10
K <sub>6</sub>	8	8	7	4	5	4	2	8	5
K <sub>7</sub>	5	6	6	7	9	6	8	3	8

Tab. 5.5. Celkové ohodnocení variant pro přepravu do Švýcarska

Celkové ohodnocení variant									
Varianta	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
Celkové ohodnocení	5,20	6,75	6,54	7,05	7,07	6,91	7,26	5,69	7,79
Pořadí	9	6	7	4	3	5	2	8	1

Jako nejvhodnější varianta byla zvolena varianta M<sub>9</sub>. Je to letoun Fokker F27-600. Tento letoun má dostatečný dolet. Všechny letouny mají dostatečný dolet, a proto byly všechny letouny ohodnoceny 10 body. Jako nejvýznamnější kritériem jsou provozní náklady. Fokker F27 má nejnižší náklady v porovnání s ostatními letouny. Jako druhé nejvýznamnější kritérium je hmotnost nákladu. Fokker přepraví všechn náklad do cílové destinace. V porovnání s ostatními letouny má vyšší spotřebu paliva, vyšší MTOM a nižší rychlost. Tyto kritéria nemají tak velkou váhu, jako ostatní kritéria, a proto byl upřednostněn tento letoun před ostatními letouny.



### 5.3.3 Volba letounu pro přepravu nákladu do Španělska

Do Španělska se má přepravit náklad o celkové hmotnosti 5 920 kg. Vzdálenost mezi letišti je 1 358 km. Minimální potřebný objem pro tento náklad je 21,9 m<sup>3</sup>. Nejvhodnější letoun se stanoví pomocí metody lineárních dílčích funkcí užitku a váhy se stanoví metodou párového porovnání.

V této metodě je třeba si stanovit nejlepší a nejhorší hodnotu kritéria. Vybírá se nejhorší a nejlepší hodnota ze všech variant vždy pro jedno kritérium.

Tab. 5.6. Nejlepší a nejhorší hodnoty kritérií

	Nejhorší hodnota kritéria $x_i^0$	Nejlepší hodnota kritéria $x_i^*$
K <sub>1</sub>	360	5 969
K <sub>2</sub>	593	1 614
K <sub>3</sub>	24 000	5 670
K <sub>4</sub>	435	574
K <sub>5</sub>	10,09	75
K <sub>6</sub>	800	317
K <sub>7</sub>	162 637	6 383

Následně se stanoví dílčí ohodnocení variant podle vzorce 5.3. Zjistí se rozdíly mezi hodnotou kritéria a nejhorší hodnotou kritéria a rozdíl mezi nejlepší a nejhorší hodnotou kritéria. Tyto rozdíly se mezi sebou vydělí a stanoví se dílčí ohodnocení varianty. Když jsou určeny hodnoty dílčího ohodnocení variant, stanoví se celkové ohodnocení variant podle vzorce 5.2.

Tab. 5.7. Metoda lineárních dílčích funkcí užítu

	Varianta letounu								
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
K <sub>1</sub>	0,40	0,31	0,33	1	0,49	0,78	0,51	0	0,66
K <sub>2</sub>	0	0,87	0,29	1	0,53	0,49	0,50	0,69	0,45
K <sub>3</sub>	0,87	0,65	0,60	0,11	0,39	0,22	0	1	0,20
K <sub>4</sub>	0,65	1	0,11	0,65	0,65	0,47	0	0,76	0,32
K <sub>5</sub>	0,11	0,32	0,40	1	0,68	0,77	0,78	0	1
K <sub>6</sub>	0,97	1	0,76	0,41	0,48	0,40	0	0,87	0,62
K <sub>7</sub>	0,86	0,87	0,91	1	0,94	0,89	0,95	0	0,95

Tab. 5.8. Celkové ohodnocení variant pro přepravu do Španělska

Celkové ohodnocení variant									
Varianta	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
Celkové ohodnocení	0,28	0,51	0,32	0,65	0,42	0,45	0,33	0,39	0,47
Pořadí	9	2	8	1	5	4	7	6	3

Jako nejvhodnější varianta byla zvolena varianta M<sub>4</sub>. Je to letoun ATR 72-200. Pro tuto destinaci by také byl vhodný i letoun EMB 120. Embraer je omezen hmotností nákladu, náklad by musel přepravovat po částech. A tím by se zvyšovali provozní náklady.

### 5.3.4 Volba letounu pro přepravu nákladu do Estonska

Nejvhodnější letoun se stanoví pomocí metody bazické varianty a váhy se stanoví metodou alokace 100 bodů. V této metodě se stanovuje tzv. bazická varianta. Je to ta varianta, která dosahuje nejlepších hodnot kritérií z daného souboru variant. V tabulce 5.9. jsou vypsány bazické hodnoty.

Tab. 5.9. Hodnoty bazické varianty

Kritérium	Hodnota bazické varianty	Typ kritéria
K <sub>1</sub>	6 599	Výnosové
K <sub>2</sub>	1 614	Výnosové
K <sub>3</sub>	5 670	Nákladové
K <sub>4</sub>	574	Výnosové
K <sub>5</sub>	75	Výnosové
K <sub>6</sub>	317	Nákladové
K <sub>7</sub>	4 658	Nákladové

Do Estonska se má přepravit náklad o celkové hmotnosti 5 685 kg. Vzdálenost mezi letišti je 1 217 km. Minimální potřebný objem nákladového prostoru je 24,84 m<sup>3</sup>.

V prvním kroku se vypočítá dílčí ohodnocení variant vzhledem ke kritériím. Pokud se jedná o kritéria výnosového typu, dílčí ohodnocení variant se vypočítají podle vzorce 5.4. Pokud se jedná o kritéria nákladového typu, dílčí ohodnocení variant se vypočítají podle vzorce 5.5.

Tab. 5.10. Metoda bazické varianty

Varianta letounu									
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
K <sub>1</sub>	0,45	0,37	0,36	1	0,56	0,76	0,53	0,11	0,65
K <sub>2</sub>	0,37	0,92	0,55	1	0,70	0,68	0,68	0,81	0,65
K <sub>3</sub>	0,71	0,47	0,44	0,26	0,34	0,28	0,24	1	0,28
K <sub>4</sub>	0,91	1	0,78	0,92	0,92	0,87	0,76	0,94	0,83
K <sub>5</sub>	0,23	0,41	0,48	1	0,72	0,80	0,81	0,13	1
K <sub>6</sub>	0,95	1	0,74	0,53	0,56	0,52	0,40	0,84	0,63
K <sub>7</sub>	0,36	0,24	0,26	1	0,40	0,22	0,37	0,86	0,38

V předchozí tabulce je možné vidět vypočítané hodnoty dílčích ohodnocení variant. Následně se vypočítá celkové ohodnocení variant podle vzorce 5.2.

Tab. 5.11. Celkové ohodnocení variant pro přepravu do Estonska

Celkové ohodnocení variant									
Varianta	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
Celkové ohodnocení	0,48	0,59	0,47	0,88	0,58	0,57	0,55	0,64	0,62
Pořadí	8	4	9	1	5	6	7	2	3

Jako nejvhodnější varianta byla zvolena varianta M<sub>4</sub>. Je to letoun ATR 72-200, tento letoun přepraví všechny požadovaný náklad do cílové destinace.

### 5.3.5 Volba letounu pro přepravu nákladu do Nizozemí

Pro tuto destinace je použita metoda založená na přímém stanovení dílčích ohodnocení a váhy kritérií se stanoví Saatyho metodou.

Tab. 5.12. Dílčí ohodnocení variant

Kritérium	Varianta								
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
K <sub>1</sub>	3	2	2	6	10	9	10	1	10
K <sub>2</sub>	1	10	10	10	10	10	10	10	10
K <sub>3</sub>	9	8	8	4	6	5	3	9	4
K <sub>4</sub>	6	6	5	6	6	6	5	6	5
K <sub>5</sub>	1	10	10	3	10	4	4	1	3
K <sub>6</sub>	8	8	7	4	5	4	2	8	5
K <sub>7</sub>	5	6	5	7	10	6	8	1	8

Do Nizozemska se má přepravit náklad o celkové hmotnosti 4 430 kg. Vzdálenost mezi letišti je 706 km. Minimální potřebný objem nákladového prostoru pro tento náklad je 18,56 m<sup>3</sup>. Nejdříve se určí dílčí ohodnocení variant. Zvolená bodová stupnice pro hodnocení variant podle kritérií je 1 až 10 bodů. Kde 10 bodů je přiděleno variantě s nejlepšími hodnotami kritérií, varianty s nejhoršími hodnotami kritérií jsou ohodnoceny 1 bodem.

*Tab. 5.13. Celkové ohodnocení variant*

Celkové ohodnocení variant									
Varianta	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
Celkové ohodnocení	2,20	3,46	3,34	2,76	4,82	3,61	3,51	2,08	3,72
Pořadí	8	5	6	7	1	3	4	9	2

Jako nejvhodnější varianta byla zvolena varianta M<sub>5</sub>. Je to letoun ATR 42-300. Tento letoun je nejvhodnější volbou do této destinace. Přepraví všechny náklad, má dostatečný dolet a jeho náklady na let jsou nižší než u všech ostatních variant.

V následující tabulce lze vidět preferenční uspořádání variant letounů podle jednotlivých metod. Na prvním místě se vždy umístila varianta letounu, která má dostatečný dolet a náklady na jednosměrný let do cílové destinace jsou minimální. Do destinací, které jsou nejvíce vzdálené, tedy do Estonska, letiště Tartu a do Španělska, letiště Barcelona-El Prat, byl zvolen jako vhodný letoun pro přepravu nákladu ATR 72-200. Do Itálie, letiště Milan-Malpensa, byl zvolen jako v předchozích případech letoun ATR 72-200. Přepravu nákladu do Švýcarska, na letiště v Curychu, bude uskutečňovat letoun Fokker F27-600. A do Nizozemska bude náklad přepravovat letoun ATR 42-300.

Cílem bylo nalézt takový letou, který má dostatečný dolet a nebude muset provádět mezipřistání na doplnění pohonných hmot. Zároveň je třeba vybrat letoun, jehož náklady na let do cílové destinace budou minimální. Všechny vybrané letouny splňují tyto podmínky, doletí do cílových destinací a náklady na let jsou minimální. Zároveň přepraví všechny náklad najednou a není třeba náklad rozdělovat na více částí.

Tab. 5.14. Preferenční uspořádání variant letounů

Pořadí	Metoda váženého pořadí (Itálie)	Metoda založená na přímém stanovení dílčích ohodnocení (Švýcarsko)	Metoda lineárních dílčích funkcí (Španělsko)	Metoda bazické varianty (Estonsko)	Metoda založená na přímém stanovení dílčích ohodnocení (Nizozemí)
1.	ATR 72-200	Fokker F27-600	ATR 72-200	ATR 72-200	ATR 42-300
2.	Fokker F27-600	AN 26	EMB 120	Beechcraft King Air B200	Fokker F27-600
3.	Fokker 50	ATR 42-300	Fokker F27-600	Fokker F27-600	Fokker 50
4.	ATR 42-300	ATR 72-200	Fokker 50	EMB 120	AN 26
5.	AN 26	Fokker 50	ATR 42-300	ATR 42-300	EMB 120
6.	EMB 120	EMB 120	Beechcraft King Air B200	Fokker 50	Saab 340A
7.	Beechcraft 1900D	Saab 340A	AN 26	AN 26	ATR 72-200
8.	Saab 340A	Beechcraft King Air B200	Saab 340A	Beechcraft 1900D	Beechcraft 1900D
9.	Beechcraft King Air B200	Beechcraft 1900D	Beechcraft 1900D	Saab 340A	Beechcraft King Air B200

## 6. Závěr

Pro destinace v Evropě byly pomocí vícekritériálních rozhodovacích metod vybírány vhodné letouny pro přepravu nákladu. Cílem této práce je vybrat jeden vhodný letoun, který by přepravoval náklad do cílové destinace. Při stanovení vah kritérií byly použity čtyři metody. U metody preferenčního pořadí kritérií hodnotitel sám stanovuje pořadí kritérií. Jedná se o subjektivní metodu. Další použitou metodou je metoda alokace 100 bodů. Jedná se opět o subjektivní metodu, kde hodnotitel rozděluje 100 bodů mezi kritéria podle toho, za jak významné je považuje. Tato metoda je přesnější než metoda preferenčního uspořádání. Jednou z použitých metod v této práci je i metoda párového porovnání. Patří mezi metody, které dávají spolehlivější výsledek. Je to z toho důvodu, že se mezi sebou porovnávají vždy dvě kritéria a určuje se, které kritérium je z těchto dvou kritérií významnější. Tímto se určí pořadí kritérií podle jejich významnosti. Poslední metodou, která je využita, je Saatyho metoda. I tato metoda se řadí mezi metody, které dávají spolehlivější výsledky. U této metody se porovnávají dvě kritéria mezi sebou a určuje se, které z těchto dvou kritérií je významnější a jak moc je významnější než druhé kritérium. Takže touto metodou se stanoví pořadí kritérií podle jejich významnosti a určí se velikost jejich významnosti.

Následně se na základě jednoduchých metod stanovení hodnoty variant určí pořadí vhodnosti letounů. Metoda váženého pořadí seřadí všechny varianty letounů podle hodnot kritérií. Poté na základě normované váhy a dílčího ohodnocení varianty stanoví celkové ohodnocení varianty. Tato metoda je nevýhodná v tom, že stanovuje celkové ohodnocení pouze na základě pořadí a nebere v úvahu rozdíly mezi hodnotami kritérií. Tato metoda se hodí pro kritéria kvantitativního typu. Metoda přímého stanovení dílčích ohodnocení je subjektivní metodou. Tady sám hodnotitel přiděluje body variantám letounu podle toho, za jak významné hodnoty kritérií považuje. Používá se pro kvantitativní i kvalitativní kritéria. Metoda lineárních dílčích funkcí užitku porovnává varianty letounu podle hodnoty kritéria letounu a nejlepších a nejhorších hodnot kritérií. Tímto klesá subjektivita stanovení dílčích ohodnocení variant, ale nevýhodou je, že u této metody se předpokládá linearita dílčích funkcí užitku. Tato metoda se používá pro kritéria jak kvantitativního, tak i kvalitativního typu. Metoda bazické varianty porovnává varianty letounů podle bazické hodnoty. Stanoví se nejlepší hodnoty kritérií a všechny hodnoty kritérií se porovnávají s bazickou hodnotou. Výhodou této metody je, že klesá subjektivita

hodnocení variant. Nevýhodou metody je, že předpokládá linearitu pro výnosová kritéria a nelineární průběh pro nákladová kritéria. Metoda se používá pouze pro kvantitativní kritéria.

Váhy kritérií jsou ohodnoceny podle cílových destinací. Celkově byl nejvyšší význam kladen na kritérium dolet a náklady na let. Podle preferovaných letounů je vidět, že tyto kritéria jsou upřednostňována před ostatními. Proto byly vždy preferovány letouny s dostatečným doletem a letouny, které mají nižší náklady na let před letouny s nižší hodinovou spotřebou paliva a s nižším MTOM. U preferovaných letounů je vždy objem nákladového prostoru větší, než je potřebný prostor pro náklad. Je to z toho důvodu, že náklad, který se přepravuje je malých rozměrů, ale vyšší hmotnosti. S vyšší maximální hmotností nákladu, který letoun přepraví, se zvětšoval i objem nákladového prostoru.

Do Itálie se přepravuje 5 764 kg nákladu a vzdálenost mezi letištěm Václava Havla v Praze a letištěm Milan-Malpensa je 647 km. Pro určení vhodného nákladního letounu je použita metoda váženého pořadí a pro stanovení vah kritérií je použita Saatyho metoda. Těmito metodami byl vybrán letoun ATR 72-200. Tento letoun přepraví požadovaný náklad a má dostatečný dolet do cílové destinace. Velký význam je kladen i na náklady za let do cílové destinace. Pro přepravu nákladu s tímto letounem jsou náklady nejnižší. Metoda váženého pořadí nebere v úvahu rozdíly mezi hodnotami kritérií. Proto je pro přesnější volbu letounu se pro stanovení vah využila Saatyho metoda. Tato metoda kromě stanovení pořadí kritérií podle jejich významnosti také určí velikost jejich významnosti. Tím se dosáhne spolehlivějšího výsledku.

Do Švýcarska se přepravuje náklad o hmotnosti 4 750 kg a vzdálenost mezi letištěm Václava Havla v Praze a letištěm Zurich je 512 km. Metoda založená na přímém stanovení dílčích ohodnocení stanovila jako nejvhodnější letoun pro přepravu nákladu do této evropské destinace Fokker F27-600. Pro stanovení vah kritérií se využila metoda stanovení preferenčního pořadí kritérií. Fokker F27-600 má dostatečný dolet a přepraví veškerý požadovaný náklad do této destinace. Zároveň jeho provozní náklady za přepravu nákladu do této destinace jsou nejnižší.

Do Španělska se přepravuje náklad o hmotnosti 5 920 kg a vzdálenost mezi letištěm Václava Havla v Praze a letištěm Barcelona-El Prat je 1 358 km. V tomto případě byla použita metoda lineárních dílčích funkcí užitku a pro stanovení vah kritérií byla použita



metoda párového porovnání. Jako preferovaný letoun je zvolen ATR 72-200. Tento letoun přepraví do Španělska všechnen požadovaný náklad a bez mezipřistání na doplnění pohonných hmot. Tato metoda bere v úvahu rozdíly mezi hodnotami kritérií a tím se dosáhne přesnějšího výsledku.

Do Estonska se přepravuje náklad o hmotnosti 5 685 kg a vzdálenost mezi letištěm Václava Havla v Praze a letištěm Tartu je 1 217 km. Pro volbu letounu byla použita metoda bazické varianty. V tomto případě byly hodnoty bazické varianty zvolené nejlepší hodnoty kritérií. Metodou alokace 100 bodů byly stanoveny váhy kritérií. Tyto metody zvolily letoun ATR 72-200. I tento letoun je schopný doletět do cílové destinace a přepravit všechnen požadovaný náklad.

Do Nizozemska se přepravuje náklad o hmotnosti 4 430 kg a vzdálenost mezi letištěm Václava Havla v Praze a letištěm Schiphol je 706 km. Pro určení vhodného letounu pro přepravu nákladu na letiště Schiphol byly použity metoda založená na přímém stanovení dílčích ohodnocení a Saatyho metoda pro stanovení vah kritérií. Nejvyšší celkové ohodnocení získal letoun ATR 42-300. I tento letoun má dostatečný dolet a přepraví požadovaný náklad do cílové destinace. Náklady na let do této destinace jsou nejnižší.

Letecké společnosti mohou při výběru letounu použít tyto metody pro podporu rozhodnutí, který letoun je nejvhodnější. Velký význam, při používání těchto rozhodovacích metod, nesou zvolená kritéria. Ty by měl hodnotitel volit s ohledem na flotilu letadel letecké společnosti, dále s ohledem na cílové destinace a druh přepravy.

## Seznam použitých zdrojů

1. O nás. *Bohemia Crystal Glass* [online]. ©2011 Copyright Pavel Jirovský [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.bohemiacrystalglass.cz/o-nas>
2. Bína, L., Šourek, D., Tihla, Z.: *Letecká doprava II*. Praha: Vysoká škola obchodní, 2007. ISBN 978-80-86841-07-6.
3. Crystalware: Glacier. In: *Bohemia Crystal Glass* [online]. (c) 2011 Copyright Pavel Jirovský [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: [http://www.bohemiacrystalglass.cz/files/fotogalerie/glacier\\_1.jpg](http://www.bohemiacrystalglass.cz/files/fotogalerie/glacier_1.jpg)
4. Ruzyne. *World Aero Data* [online]. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://worldaerodata.com/wad.cgi?id=EZ36746&sch=LKPR>
5. Letiště Praha. In: *Prague airport* [online]. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.prg.aero/cs/o-letisti-praha/fotogalerie/letiste-praha/?page772c6035=6&detail=1>
6. Malpensa. *World Aero Data* [online]. ©2017 WorldAeroData.com. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://worldaerodata.com/wad.cgi?id=IT37883&sch=LIMC>
7. Vzdálenosti mezi městy. *Vzdálenosti měst* [online]. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://cz.vzdalenosti-mesty.himmera.com/hledani/>
8. Zurich. *World Aero Data* [online]. ©2017 WorldAeroData.com. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://worldaerodata.com/wad.cgi?id=sz45987&sch=LSZH>
9. Barcelona. *World Aero Data* [online]. ©2017 WorldAeroData.com. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://worldaerodata.com/wad.cgi?id=SP46124&sch=LEBL>
10. Tartu. *World Aero Data* [online]. ©2017 WorldAeroData.com. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://worldaerodata.com/wad.cgi?id=EN00002&sch=EETU>

11. Schiphol. *World Aero Data* [online]. ©2017 WorldAeroData.com. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://worldaerodata.com/wad.cgi?id=NL29038&sch-EHAM>
12. FOTR, Jiří, Lenka ŠVECOVÁ a KOLEKTIV. *Manažerské rozhodování postupy, metody a nástroje*. Druhé. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-59-0.
13. FIALA, Petr, Josef JABLONSKÝ a Miroslav MAŇAS. *Vícekriteriální rozhodování*. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 1994. ISBN 80-7079-748-7.
14. Beech 1900C/D. *Azfreighters.com* [online]. © 2017 A-Z Group Limited [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.azfreighters.com/planes/b-1900.pdf>
15. Cargo Aircraft Charters. In: *Freightrunners* [online]. Wisconsin: © 2017 Freight Runners Express [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.freightrunners.com/cargo/>
16. Embraer 120 Brasilia. *Aviation cargo* [online]. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: [https://aviationcargo.dhl.com/aviationcargo/sites/default/files/aircraft\\_dimension\\_sheets/EMB120-Brasilia.pdf](https://aviationcargo.dhl.com/aviationcargo/sites/default/files/aircraft_dimension_sheets/EMB120-Brasilia.pdf)
17. EMB 120 Cargo Conversion. *Worldwide Aircraft services* [online]. © 2000 WASI Publications 9/05/00 [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://worldwide-aircraft.com/files/static/document/conversion/EMB120.pdf>
18. JOINT VENTURE PARTNER TABY AIR MAINTENANCE: FAA-APPROVED FOR SAAB 340 CARGO CONVERSION STC. In: *Jet Midwest* [online]. ©2016 Jet Midwest Group, 2016 [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.jetmidwest.com/single-post/2016/04/25/JOINT-VENTURE-PARTNER-TABY-AIR-MAINTENANCE-FAAAPPROVED-FOR-SAAB-340-CARGO-CONVERSION-STC>
19. SAAB 340 CARGO CONVERSION. *TAM Taby air maintenance AB* [online]. Švédsko [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://tam.se/wp-content/uploads/2015/10/TAM-Saab-340-Cargo-Conversion.pdf>
20. SAAB 340. In: *Air Partner* [online]. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.airpartner.com/en-US/aircraft-guide/saab-340/>

21. ATR 72 CARGO. In: *Air Charter Service* [online]. © 2017 Air Charter Service Worldwide [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.aircharterservice.com/aircraft-guide/cargo/atr-france/atr72cargo>
22. ATR72-200 Freighter Information Pack. *Aslairlines* [online]. Irsko: © Copyright ASL Airlines (Ireland) Limited 2017, 2014 [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: [http://www.aslairlines.ie/images/uploads/pdf/atr\\_datasheet\\_72\\_-\\_2014.pdf](http://www.aslairlines.ie/images/uploads/pdf/atr_datasheet_72_-_2014.pdf)
23. Aircraft N913FX Photo. In: *Airport-Data.com* [online]. Steve Nation, 2008 [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.airport-data.com/aircraft/photo/001191352.html>
24. ATR Family. *ATR Aircraft* [online]. Francie: © 2016 ATRAIRCRAFT, 2014 [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: [http://www.atraircraft.com/products\\_app/media/pdf/FAMILY\\_septembre2014.pdf](http://www.atraircraft.com/products_app/media/pdf/FAMILY_septembre2014.pdf)
25. Sweden's Amapola Flyg to convert two Fokker 50 into freighters. In: *Ch-Aviation* [online]. © 1998-2017 ch-aviation, 2014 [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <https://www.ch-aviation.com/portal/news/27816-swedens-amapola-flyg-to-convert-two-fokker-50-into-freighters>
26. Fokker50Freighter. *Aircraft Conversions Plane Solution* [online]. Copyright 2017 - Aircraft Conversions BV [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://aircraftconversions.com/fokker50freighter/>
27. Fokker 50 Freighter: Payload-Range. In: *Cargo Freighter Specifications* [online]. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.brinkley.cc/AC/f50f.htm>
28. Antonov AN 26. *Azfreighters.com* [online]. © 2017 A-Z Group Limited [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.azfreighters.com/planes/an-26.pdf>
29. Beechcraft Super King Air 200C ZK-FDR. In: *Airrescue* [online]. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: [http://assets2.airrescue.co.nz/assets/King-Air-17\\_1.jpg](http://assets2.airrescue.co.nz/assets/King-Air-17_1.jpg)

30. BeechKingair B200. *Aviation Cargo DHL* [online]. © 2017 Deutsche Post [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: [https://aviationcargo.dhl.com/aviationcargo/sites/default/files/aircraft\\_dimension\\_sheets/beeckkingairb200.pdf](https://aviationcargo.dhl.com/aviationcargo/sites/default/files/aircraft_dimension_sheets/beeckkingairb200.pdf)
31. Beechcraft Super King Air 200C ZK-FDR. In: *Airrescue* [online]. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: [http://assets2.airrescue.co.nz/assets/King-Air-20\\_1.jpg](http://assets2.airrescue.co.nz/assets/King-Air-20_1.jpg)
32. Beechcraft Super King Air 200C ZK-FDR. In: *Airrescue* [online]. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: [http://assets2.airrescue.co.nz/assets/King-Air-19\\_1.jpg](http://assets2.airrescue.co.nz/assets/King-Air-19_1.jpg)
33. Fokker F27-600. *Azfreighters.com* [online]. © 2017 A-Z Group Limited [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.azfreighters.com/planes/f27.pdf>
34. Fokker F27-600: Payload-Range. In: *Cargo Freighter Specifications* [online]. [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.brinkley.cc/AC/f276.htm>
35. *Mapy Google* [online]. Snímky©2017 TerraMetrics, Mapová data ©2017 GeoBasis-DE/BKG (©2009), Google, Inst. Geogr. Nacional, Mapa GISrael, ORION-ME [cit. 15.5.2017]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@46.673977,18.9535655,2135777m/data=!3m1!1e3>

## Seznam obrázků

Obr. 2.1. Rozměry krabice se sklenicemi .....	13
Obr. 2.2. Rozměry krabice s láhví .....	14
Obr. 2.3. Rozměry krabice s mísou .....	14
Obr. 2.4. Popis stran kvádrů .....	14
Obr. 3.1. Letiště v Praze .....	16
Obr. 3.2. Letiště v Miláně a v Praze na mapě .....	17
Obr. 3.3. Letiště v Curychu a v Praze na mapě .....	18
Obr. 3.4. Letiště v Barceloně a v Praze na mapě .....	19
Obr. 3.5. Letiště v Estonsku a v Praze na mapě .....	20
Obr. 3.6. Letiště v Nizozemsku a v Praze na mapě .....	21
Obr. 5.1. Nákladní letoun B1900 .....	35
Obr. 5.2. Nákladní dveře u B1900 .....	35
Obr. 5.3. Embraer 120 freighter .....	37
Obr. 5.4. Vnitřek nákladového prostoru .....	37
Obr. 5.5. Saab 340 .....	38
Obr. 5.6. Nákladní prostor Saab 340A .....	39
Obr. 5.7. ATR 72 cargo .....	40
Obr. 5.8. Vnitřní prostor ATR 72 .....	40
Obr. 5.9. ATR 42 cargo .....	42
Obr. 5.10. Vnitřek ATR 42 a nákladové dveře .....	42
Obr. 5.11. Fokker 50 freighter .....	43
Obr. 5.12. Nákladový prostor pro Fokker 50 .....	44
Obr. 5.13. AN 26 .....	45
Obr. 5.14. Nákladní prostor AN 26 .....	45
Obr. 5.15. AN 26 ve vzduchu .....	45
Obr. 5.16. Beech King Air B200 .....	47
Obr. 5.17. Uložení nákladu v letounu .....	47
Obr. 5.18. Nakládka nákladu do letounu .....	47
Obr. 5.19. Fokker F27 .....	48
Obr. 5.20. Prostor pro náklad v letounu Fokker F27 .....	49
Obr. 5.21. Dílčí funkce užitku pro kritéria výnosového typu .....	54
Obr. 5.22. Dílčí funkce užitku pro kritéria nákladového typu .....	54

## Seznam tabulek

Tab. 3.1. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti v Praze .....	16
Tab. 3.2. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti Milan-Malpensa.....	17
Tab. 3.3. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti v Curychu .....	18
Tab. 3.4. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti v Barceloně .....	19
Tab. 3.5. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti v Estonsku .....	20
Tab. 3.6. Parametry vzletové a přistávací dráhy na letišti Schiphol .....	21
Tab. 4.1. Fullerův trojúhelník .....	26
Tab. 4.2. Určování počtu preferencí u kritéria K1 a kritéria K2.....	26
Tab. 4.3. Stanovení pořadí kritérií podle významnosti .....	27
Tab. 4.4. Hodnoty přidělené jednotlivým deskriptorům .....	27
Tab. 4.5. Fullerův trojúhelník podle Saatyho .....	28
Tab. 4.6. Označení jednotlivých kritérií .....	29
Tab. 4.7. Stanovení pořadí jednotlivým kritériím podle významnosti .....	30
Tab. 4.8. Počet bodů, které jsou přiřazeny všem kritériím .....	31
Tab. 4.9. Fullerův trojúhelník, stanovení počtu preferencí a pořadí kritérií.....	32
Tab. 4.10. Fullerův trojúhelník podle Saatyho metody .....	33
Tab. 5.1. Váhy kritérií podle různých metod .....	55
Tab. 5.2. Metoda váženého pořadí.....	56
Tab. 5.3. Celkové ohodnocení variant u přepravy do Itálie.....	56
Tab. 5.4. Metoda založená na přímém stanovení dílčích ohodnocení .....	58
Tab. 5.5. Celkové ohodnocení variant pro přepravu do Švýcarska .....	58
Tab. 5.6. Nejlepší a nejhorší hodnoty kritérií .....	59
Tab. 5.7. Metoda lineárních dílčích funkcí užítu .....	60
Tab. 5.8. Celkové ohodnocení variant pro přepravu do Španělska .....	60
Tab. 5.9. Hodnoty bazické varianty .....	61
Tab. 5.10. Metoda bazické varianty.....	61
Tab. 5.11. Celkové ohodnocení variant pro přepravu do Estonska .....	62
Tab. 5.12. Dílčí ohodnocení variant .....	62
Tab. 5.13. Celkové ohodnocení variant .....	63
Tab. 5.14. Preferenční uspořádání variant letounů .....	64